

令和3年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

空港における遠隔監視型自動運転に向けた  
通信冗長化設計による映像監視技術の実現

成果報告書

令和4年3月25日

東日本電信電話株式会社

# 目次

<b>1. 実証概要</b> .....	<b>1</b>
1.1 背景・目的 .....	1
1.2 実証の概要 .....	2
<b>2. 実証環境の構築</b> .....	<b>4</b>
2.1 実施環境 .....	4
2.2 ネットワーク・システム構成 .....	6
2.2.1 ネットワーク・構成概要 .....	6
2.2.2 基地局無線部特性 .....	12
2.2.3 ローカル5Gシステムの性能 .....	18
2.2.4 システム構成製品概要 .....	18
2.3 システム機能・性能・要件 .....	27
2.4 免許及び各種許認可 .....	27
2.5 その他要件 .....	28
2.6 実証環境の運用 .....	30
<b>3. ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）</b> .....	<b>32</b>
3.1 実証概要 .....	32
3.2 実証環境 .....	33
3.3 実証内容 .....	34
3.3.1 ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定 .....	34
3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化 .....	63
3.3.3 電波反射板によるエリア構築の柔軟化 .....	91
3.3.4 準同期TDDの追加パターンの開発 .....	92
3.3.5 その他のテーマ（他の無線システムからの被干渉） .....	93
3.3.6 その他のテーマ（複数基地局間でのハンドオーバー） .....	121
<b>4. ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査（課題実証）</b> .....	<b>135</b>
4.1 実証概要 .....	135
4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標 .....	135
4.2.1 背景、課題及び実装シナリオ .....	135
4.2.2 実証目標 .....	143
4.3 実証環境 .....	146
4.3.1 成田国際空港概要 .....	146
4.3.2 自動運転車両の走行エリア .....	147
4.3.3 自動運転車両・遠隔監視システム .....	149
4.4 実証内容 .....	153
4.4.1 ローカル5Gを用いたソリューションの有効性等に関する検証 .....	153

4.4.2 ローカル5Gを用いたソリューションの実装性に関する検証 .....	315
4.4.3 ローカル5Gの実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討 .....	339
4.4.4 継続利用の見通し・実装計画 .....	346
4.4.5 ローカル5G及びキャリア通信の冗長化検討（追加提案） .....	358
<b>5. 普及啓発活動の実施.....</b>	<b>378</b>
5.1 5Gソリューション提供センター(仮称)における提供モデル.....	378
5.2 映像制作への協力.....	378
5.3 実証視察会の実施.....	382
5.4 その他普及啓発活動 .....	382
<b>6. 実施体制 .....</b>	<b>399</b>
<b>7. スケジュール .....</b>	<b>402</b>

## 1. 実証概要

### 1.1 背景・目的

現在の日本における交通インフラを考えるうえで、直面している社会的課題として少子高齢化が急速に進むことによる労働人口減少があります。バス・トラックなどの運行台数に対し、各産業で必要となるドライバを確保することが、生産年齢人口の減少、厳しい労務環境、労務単価の上昇により難しくなっています。例えば、国際空港であれば早朝から夜間にいたるまで、連絡バス及びトローリングトラクタのドライバを、航空機の発着枠に応じて柔軟に確保する必要がありますが、航空需要の先読みが難しい中で、安定した受け入れ態勢を確保しがたい状況が続いていくことが予想されます。

成田国際空港はじめ各空港においては、アフターコロナのインバウンド等の需要回復を見込んだドライバの確保が必要不可欠です。また空港以外の他業種においても、工場や物流、農業など広大な敷地を有し、短距離でも人やモノを移動させるためのモビリティに頼らざるを得ない地域産業におけるドライバの確保は欠かすことができません。一方で、その解決策と目される自動運転技術の適用においては、他車両や歩行者、特殊車両、航空機等が混在する環境下で、自動運転車が有する認知・判断・操作能力は限界があり、運行管理者による遠隔監視が求められています。

このような課題を解決するため、本事業においては航空分野のユースケースをもとに実証を行い、人手不足への対応や、ヒューマンエラーに起因する車両事故リスクの軽減を目的とした自動運転技術の連絡バス適用を目指します。ローカル5Gを活用した遠隔監視型自動運転自動走行レベル4相当で技術確立させ、ローカル5Gとキャリア通信を併用した通信冗長化設計による映像監視技術の実現に向け、検証・評価を実施することとした。

国土交通省の企図する2025年自動走行レベル4相当の導入に向けては、空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会において必要に応じて本実証の成果報告を行い、制限エリア内における自動走行のルール策定に貢献し、ひいては成田国際空港への自動走行レベル4相当自動運転の実装や他空港への普及展開につなげることを目指します。

## 1.2 実証の概要

完全自動運転に向けたステップとして遠隔監視を前提とした自動運転システムの社会実装が進んでいます。本実証では、ローカル5Gの特徴の一つである通信安定性を活かし、遠隔監視要件の通信システム冗長系による映像監視タスクの簡素化と、遠隔監視でのオペレーションに必要な通信部分の技術要件明確化を行うことで、ローカル5Gを活用した遠隔監視型自動運転の実証を行いました。

具体的には、ローカル5Gによる遠隔監視を用いた自動運転システムが安定運用できることを確認するため、以下に取り組みました。通信帯域の安定性と独自システムの構築可能なローカル5Gシステムを敷設し、キャリア通信を併用した冗長系による通信環境を構築しました。そのうえで、成田国際空港ターミナル連絡バスルート（図1-1）の第2ターミナル70番ゲートから第3ターミナルのバス停留場（距離 およそ700m）において、自動走行レベル4相当の遠隔監視自動運転実験車両と遠隔監視システムを用い、適用効果の測定を行いました。

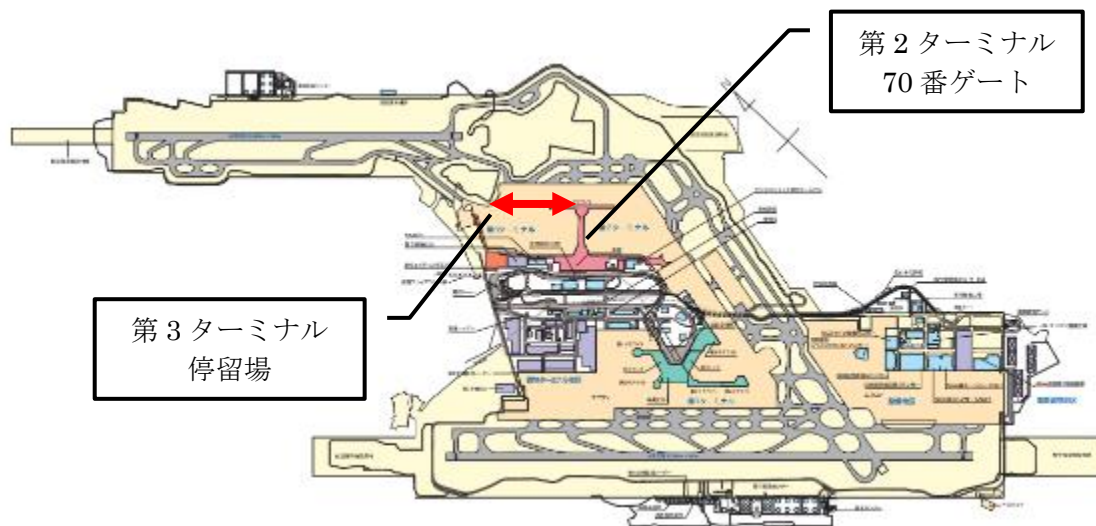


図1-1 成田国際空港ターミナル内本試験の連絡バス走行ルート  
([https://www.naa.jp/jp/airport/pdf/layout\\_01.pdf](https://www.naa.jp/jp/airport/pdf/layout_01.pdf))

### ① ローカル5G複数セル間のハンドオーバーによる自動走行

本実証においては、およそ距離700mを複数セルでカバーし、連絡バス走行ルートにおいて、エリア内で安定した通信特性が得られることを調査しました。そのうえで、遠隔監視型自動運転走行実験車を走行させ、遠隔監視を要するシーンを模擬し、その効果を確認しました。（図1-2）。

具体的には、本自動運転車の車速約15km/hで車両を走行させ、技術実証にて屋外環境に設置した複数の基地局間をまたがったエリアにおける通信特性を評価し、課題実証にて遠隔監視を伴う自動運転のローカル5G適用効果を評価しました。この実証を通じ、複数基地局を用いて、遠隔監視型自動運転走行エリア全域をカバーできることを実証しました。あわせて、大型物体（近接する航空機や大型トラック、構造物等）や航空無線による遠隔監視型自動運転システムに対しての影響有無を実フィールドで調査しました。

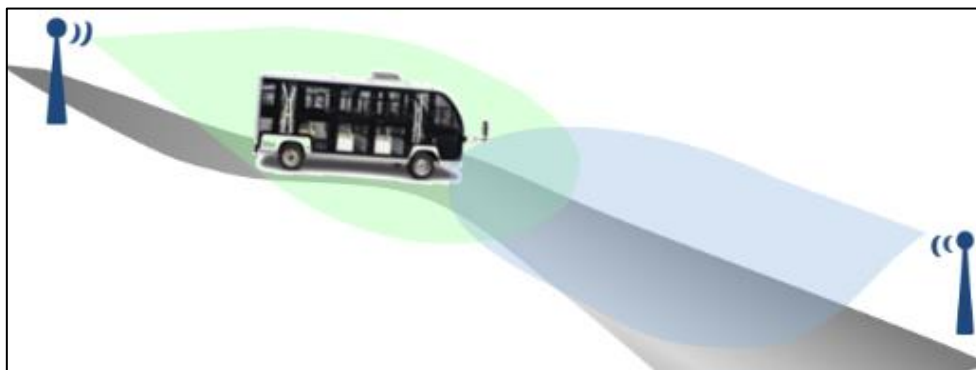


図 1-2 遠隔監視型自動運転エリアをカバーするためのローカル5G複数セル間ハンドオーバー

② ローカル5G網とキャリア通信による冗長通信の実現

ローカル5G網とキャリア通信による、無線通信の冗長構成を構築し、不測の事態が生じた際でも遠隔監視型自動運転の遠隔監視システムを維持できることを調査しました。このため、下記内容で遠隔監視機能・性能の評価を行いました。

- ・キャリア通信とローカル5G網の両通信端末を同時に搭載し、各々の遠隔監視機能・性能の評価。

- ・キャリア通信とローカル5G網を併用する処理実装を行うことで、万が一ローカル5G通信品質が要件を満たさなくなった際も、速やかにキャリア通信へ人手を介さず切り替えることで、遠隔監視型自動運転の継続性を評価。



図 1-3 遠隔監視要件を満たす冗長通信の実現

## 2. 実証環境の構築

本実証では、千葉県成田市古込1-1に所在する「成田国際空港」の構内を対象に実証環境を構築しました。構内のうち、第二旅客ターミナル（以下、第2ターミナル）及び第三旅客ターミナル（以下、第3ターミナル）のバス停留場及びその間の走行経路（およそ700m）をカバーエリアとしたローカル5G環境を構築しました。実証を行うエリアを図2-1に示します。



図 2-1 地図上に示した実証エリア

(国土地理院 地理院地図を加工。以後、地図や航空写真については特記無い場合同じ)

### 2.1 実施環境

本実証を実施する環境は、千葉県成田市古込1-1に所在する「成田国際空港」内において、航空機から乗員・乗客の乗降などを行う「エプロン」と呼ばれるエリアです。環境は屋外かつ平面です。航空機を駐機する「スポット」と、構内用車両通路などがあり、通路上をターミナル間連絡バスや手荷物を輸送する車両などが走行しています。

第2ターミナル及び第3ターミナルのバス停留場及びその間の構内用車両通路延べ700mほどをカバーエリアとしてローカル5G環境を構築しました。バス停留場はターミナルビルの2階部分を屋根とする屋外環境で、走行経路はターミナルビルの外縁に沿った屋外環境です。所によりボーディングブリッジや機体による遮蔽が発生し、置局位置によっては屋外ながらも一部は見通しの悪い環境となっています。



図 2-2 走行経路及びバス停留場の位置関係



## 2.2 ネットワーク・システム構成

### 2.2.1 ネットワーク・構成概要

本実証において構築したシステムの構成図を以下に示します。なお構築スケジュールについては、第7章のスケジュールをご参照ください。

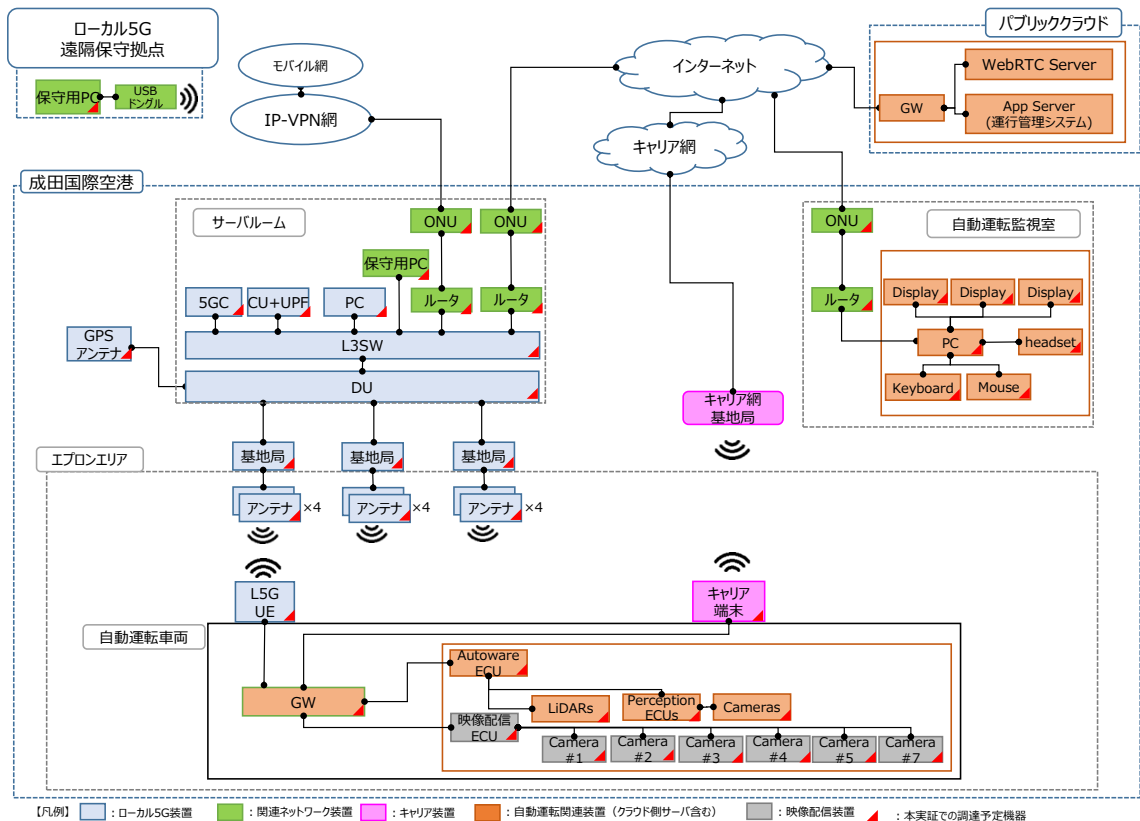


図 2-3 実証システム構成図

#### (1) 設置場所

本実証システムの**設置場所**は成田国際空港内となります。基地局は今回の実証エリアをカバーできる箇所に設置し、コアネットワークを構成する装置群は空港敷地内に所在するサーバールームへ設置しました。

またコアネットワークを経由し、遠隔地に設置するローカル5G保守拠点や、空港内に設置する自動運転遠隔監視室、パブリッククラウド上に構築された自動運転用遠隔監視システムと接続しました。

#### (2) 基地局位置及びエリアカバレッジ図

基地局位置及びカバレッジ範囲は、サイトサーベイやエリアシミュレーションを実施し、その結果に基づいて詳細設計を行ったうえで置局位置を確定しました。

エリア算出法に基づく試算により、カバーエリア半径：430m、調整対象区域半径：650mとしました。なお算出に用いたパラメータは下記の表 2-1 のとおりです。

表 2-1 エリア算出法に基づく試算に用いたパラメータ

項目	条件
中心周波数	4849.98 MHz
システム帯域幅	100MHz
送信電力	4W(1W × 4port)
送信アンテナ利得	17.5 dBi
送信給電線損失	4.26 dB
基地局地上高	10m
設置箇所	屋外
環境条件	郊外地モデル

また、上記のパラメータに基づき、地図上に基地局 (RU) 位置とカバーエリア及び調整対象区域を示しました(図 2-4, 図 2-5)。

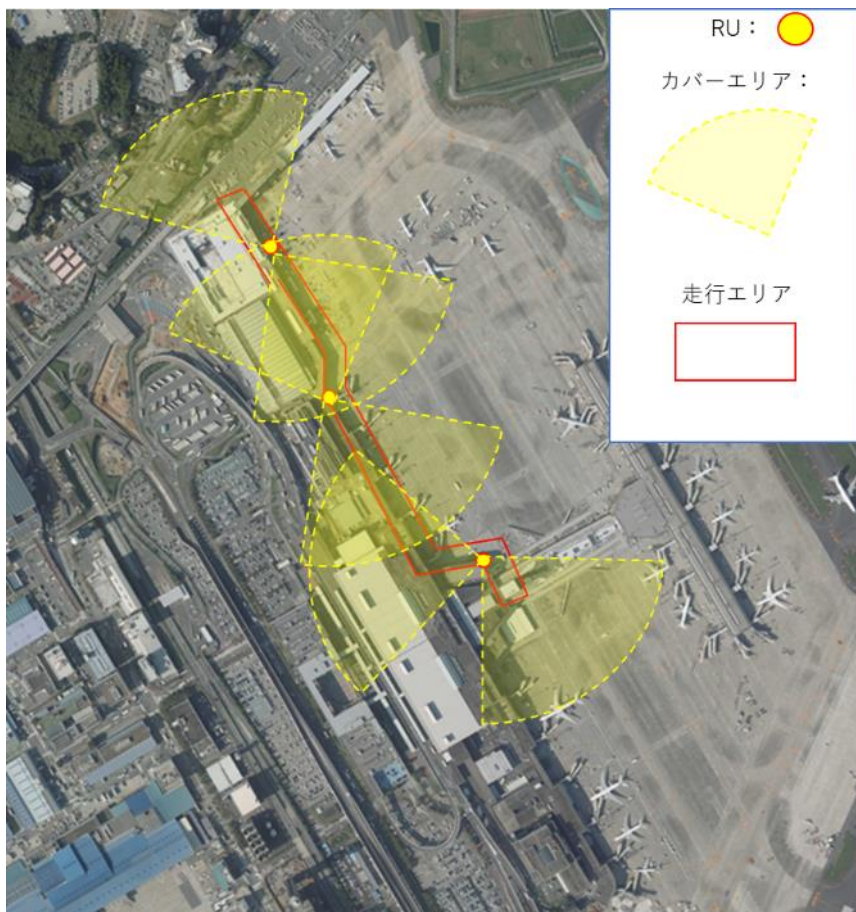


図 2-4 ローカル 5G カバリエリア図

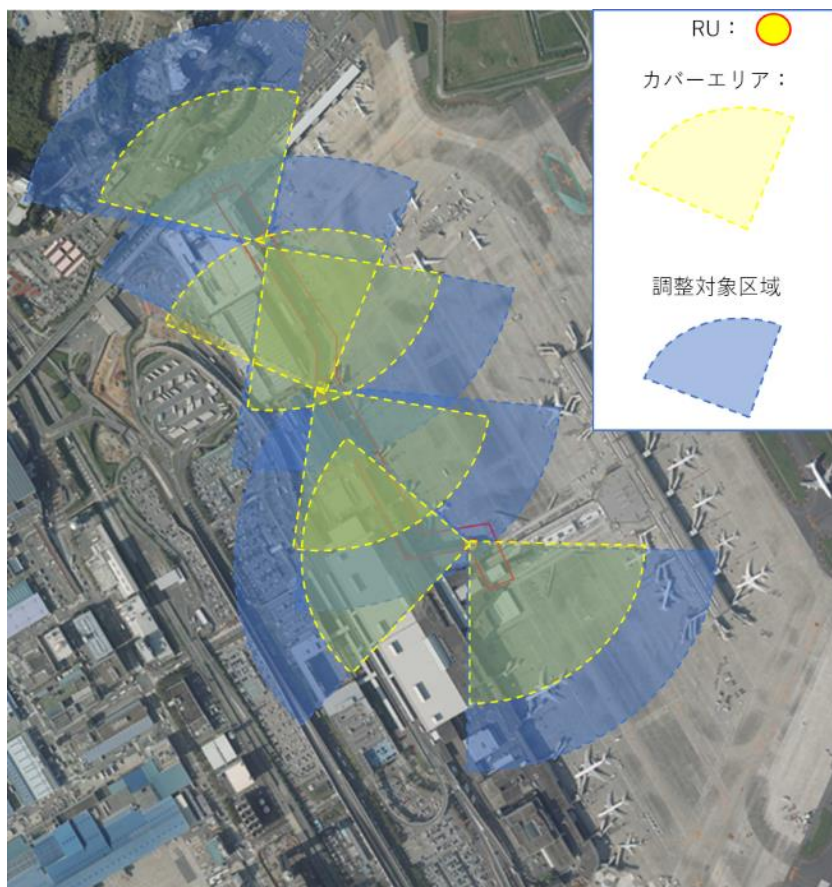


図 2-5 ローカル5G カバーエリア及び調整対象区域図)

基地局（RU）設置場所を以下に示します。

- 基地局 1（Site 1）：152 番搭乗橋付近
- 基地局 2（Site 2）：75 番搭乗橋付近
- 基地局 3（Site 3）：70 番バスゲート付近

基地局（RU）設置写真を以下に示します。



図 2-6 Site1-1 基地局設置写真



図 2-7 Site1-2 基地局設置写真



图 2-8 Site2-1 基地局設置写真



图 2-9 Site2-2 基地局設置写真



图 2-10 Site3-1 基地局設置写真



图 2-11 Site3-2 基地局設置写真

### (3) システム構成概略

#### ① コアネットワーク

- (ア)実証で使う帯域幅を考慮し、相応の余裕を考慮した 10G ポートでの通信をベースとした機器を選定しました。**具体的な各機器間の帯域幅については「2.3 システム機能・性能・要件」にて記載します。**
- (イ)外部 NW として、フレッツ VPN 回線とインターネットアクセス回線を接続しました。
- (ウ)リモートメンテナンス拠点とは VPN でアクセス先を制限し、サイバーセキュリティ対策を実施しました。
- (エ)自動運転用の遠隔監視システムとの通信のため、インターネットアクセス回線と接続します。インターネットアクセスにあたってはインターネット接続用ルータを設置しフィルタリング機能により、サイバーセキュリティ対策を実施しました。

#### ② ローカル 5 G の基地局等無線通信システム

- (ア)ミリ波帯に比べて広域なカバレッジエリアが期待できる 4.7GHz 帯 (4.6GHz-4.9GHz) を選定し、そのうち屋外利用が可能とされている 4.8-4.9GHz で最大の帯域幅となる 100MHz 幅システムを使用するものとししました。
- (イ)コアネットワークとの接続は、本来であれば数百 m 単位の光ファイバーケーブル敷設工事が必要となりますが、本実証では既設の空港構内光ファイバー網を利活用することで、**構築コストの低減及び工期短縮**を図りました。

#### ③ 自動運転システム

- (ア)本実証を行える性能を具備した**車両及び遠隔監視システム**によって構成しました。使用する**クラウドプラットフォームやアプリケーション構成**などの詳細については 4.2 章にて記載しているため、本章では概要のみ記載します。
- (イ)車両は、電気自動車 (小型バスタイプ) に自動運転システムを搭載する為改造しました。主に、車載センサ (LiDAR 取得情報等) と三次元高精度自動運転用地図を用いて自己位置推定を行い、自動運転を実現しています。搭載する自動運転ソフトウェアとしてはオープンソースソフトウェアである Autoware を使用し、本車両の仕様に基づきチューニングを行いました。
- (ウ)遠隔監視システムは、クラウド上に構築したサーバと自動運転用遠隔監視室に設けた監視モニタを用いて、遠隔監視者が車載カメラからの映像確認や各種安全等にかかる判断を行い、車両側との連携を実施しました。また遠隔監視に加えて安全確認や経路変更等の承認も行いました。遠隔監視者は、空港内に設置する遠隔監視室にて作業を実施しました。
- (エ)自動運転車両と遠隔監視システム間の通信は、ローカル 5 G を用いてインターネット経由で接続しました。冗長性確保の検討を行うため別途キャリア通信も利用しました。追加提案においては、キャリア通信とローカル 5 G 通信の冗長系機能のソフト実装も併せて行いました。

## 2.2.2 基地局無線部特性

本実証において構築したローカル 5 G システム (基地局) の概要を以下に示します。

表 2-2 ローカル5Gシステム（基地局）の概要

項目	基地局相当装置	移動局相当装置
製造ベンダ	Samsung	京セラ
無線基地局数	3	—
設置場所	屋外	—
同期/準同期	同期	—
UL:DL 比率	同期 1:4	—
周波数帯	4.8-4.9GHz(帯域幅:100MHz)	—
通信方式	SA	—
空中線	4T4R	1T4R
占有帯域幅	100MHz	100MHz
中心周波数	4849.98MHz	4550.01~4849.98MHz
変調方式	DL:OFDMA(256QAM) UL:OFDMA(256QAM)	OFDM(QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM)
動作温度	非開示	非開示
アンテナ指向性	水平方向 20 度 垂直方向 20 度 (X25-3545FTD)	オムニ
アンテナ利得	17dBi(X25-3545FTD)	非開示



なお、本実証で用いる測定器・シミュレーションソフトウェアについては下記の通りです。

○エリアテスタ (Anritsu MU878070A)



図 2-12 エリアテスタ外観

表 2-3 エリアテスタ諸元

周波数範囲		3600.0~4200.0MHz (n77、78バンド : MX878071A インストール済み)
		4400.0~4900.0MHz (n79バンド : MX878072A インストール済み)
RF 信号入力コネクタ		SMA-J、50Ω (公称値)
測定種別	測定対象信号	Duplex Mode : TDD
		Cyclic Prefix : Normal
		被測定受信信号 : SSS (Secondary Synchronization Signal)
	測定項目	SS-RSRP、SS-RSRQ、SS-SIR、Transmission Power、RSSI
		DMRS-RSRP、DMRS-SIR、フレームタイミング

	チャンネル帯域幅	10/15/20/30/40/50/60/70/80/90/100 MHz
	スペクトラムモニタ	○
	CW 測定	○
本体寸法	240×170×23mm	
本体重量	0.8kg 以下	

○Anritsu ハンドヘルドスペクトラムアナライザ MS2720T



図 2-13 スペクトラムアナライザ外観

表 2-4 スペクトラムアナライザ諸元

周波数範囲	9 kHz～43 GHz
ダイナミックレンジ	>106 dB (RBW 1 Hz、@ 2.4 GHz)
位相雑音	-108 dBc/Hz (10 kHz オフセット、@ 1 GHz、Opt. 0709)
RF コネクタ	オプション 709、713、720 装着時 N (f) オプション 732、743 装着時 K (m)
入力アッテネータ	0～65 dB、1 dB ステップ
振幅確度	±0.5 dB (代表値)
周波数確度	周波数確度： ±0.3 ppm (25° C ±25° C) + エージング エージング： ±1.0 ppm/10 年

○無線ネットワーク測定ツール (XCAL-M)



図 2-14 XCAL-M イメージ

表 2-5 XCAL-M 諸元

項目	詳細仕様																																																								
ツール用途	移動局から出力される無線区間の通信情報及び各種パラメータ値の表示を行いロギング可能な無線ネットワーク測定ツールです。移動局-基地局間によるNR物理レイヤーL1,L2,L3メッセージやTCP/IPパケット情報などのログデータの取得が可能です。																																																								
対応チップ	Qualcomm, Samsung, MEDIATEC, Hisilicon																																																								
搭載機能	<table border="1"> <thead> <tr> <th>データロギング</th> <th>パラメータ・MSG表示</th> <th colspan="4">オートコール</th> <th>モニター</th> <th>機能</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>屋外測定</td> <td>Graph</td> <td>Voice</td> <td>HTTP</td> <td>MMS</td> <td>Ring</td> <td>Statistics</td> <td>Replay</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Table</td> <td>Video</td> <td>KeyEmul</td> <td>YouTube</td> <td>IPerf</td> <td>KPI</td> <td>Alarm</td> </tr> <tr> <td>屋内測定</td> <td>Map</td> <td>FTP</td> <td>PPP</td> <td>TFTP</td> <td>UDP</td> <td>Event</td> <td>Time Sync</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Layer 3</td> <td>SMS</td> <td>Email</td> <td>VoLTE</td> <td>特設抽出</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>RF スキャナ</td> <td>Packet capture</td> <td>Messenger Talk</td> <td>Video-NOS</td> <td>Voce-NOS</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Video Streaming/Netflix</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	データロギング	パラメータ・MSG表示	オートコール				モニター	機能	屋外測定	Graph	Voice	HTTP	MMS	Ring	Statistics	Replay		Table	Video	KeyEmul	YouTube	IPerf	KPI	Alarm	屋内測定	Map	FTP	PPP	TFTP	UDP	Event	Time Sync		Layer 3	SMS	Email	VoLTE	特設抽出			RF スキャナ	Packet capture	Messenger Talk	Video-NOS	Voce-NOS						Video Streaming/Netflix					
データロギング	パラメータ・MSG表示	オートコール				モニター	機能																																																		
屋外測定	Graph	Voice	HTTP	MMS	Ring	Statistics	Replay																																																		
	Table	Video	KeyEmul	YouTube	IPerf	KPI	Alarm																																																		
屋内測定	Map	FTP	PPP	TFTP	UDP	Event	Time Sync																																																		
	Layer 3	SMS	Email	VoLTE	特設抽出																																																				
RF スキャナ	Packet capture	Messenger Talk	Video-NOS	Voce-NOS																																																					
		Video Streaming/Netflix																																																							
接続interface 接続実績デバイス	USBポートまたはEthernet (アストUE最大3台接続) USBポートまたはEthernet経由にて、スキャナ-測定器接続 (最大2台) 実績デバイス: Docomo Galaxy S20+/S21, LGV60 ThinQ 5G, APAL RAKU Plus(Compal) K5G-C-100A, Aperia UE-100(Aperia社にて接続実績あり)																																																								
取得パラメータ (5G NR Qualcomm)	NR_Serving_Cell_Beam, NR_TxPower_Control, NR_CSI(RSSI/RSRP/RSRQ/SIR) NR_Throughput(PDCCH/PDSCH/PUCCH/PUSCH), NR_BLER(PDSCH/PUSCH) 他多数のパラメータ取得が可能																																																								
Autocall スクリプト機能	様々なAutocallタイプをサポートしており、シナリオ(スクリプト)は、コール種別毎に設定が可能 <pre> [Voice] Common [RF Call] [DCVATE] [DCVDRIVE] [TimeTrack] [5G] FTP [FTP] [HTTP] [P2P] [YouTube] [Net] [Email] [Websocket] [SMS] [MMS] [Data] [MessageTalk] Common [Connectivity] [WhatsApp] [We] [Slack] [BDL] [Facebook] [GmailTalk] [LINE] [iFTT] [VDR] [VDR] [ChatGPT] [RF] [WebRTC] [G] [Hangouts] [L2L] FTP [FTP] [PPP] [P2P] [P2P] [VoIP] [SMS] [CS] [VoIP] [HTTP] [Android] [Email] [P2P] [P2P] [MMS] [CS] [VoIP] [4G] [L2L] VDR [UDP] [Web] [Net] [GSM] [GSM] [P2P] [P2P] [SMS] [Net] [Net] [YouTube] </pre>																																																								

○シミュレータソフト (Infovista Planet)

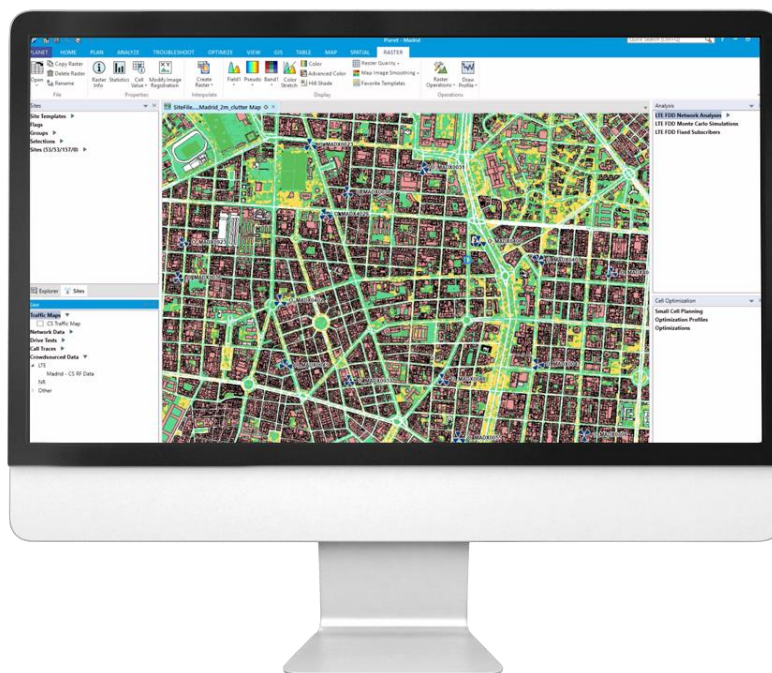


図 2-15 Planet イメージ

シミュレーションモデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Planet General Model (2D)</li> <li>・ Universal Model (3D)</li> <li>・ Planet 3D Model (3D)</li> </ul>
対応周波数	100 MHz - 40GHz
解析技法	Dominant Path Method
拡張秦式、ITU-R P. 1411	対応不可
出力結果項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 受信電力</li> <li>・ 伝搬損失</li> <li>・ 電界強度</li> <li>・ パス情報</li> <li>・ 到来確度</li> <li>・ 放射確度</li> <li>・ 自由空間受信電力</li> <li>・ 自由空間損失</li> <li>・ 最大受信レベル</li> <li>・ 勢力図</li> <li>・ SIR, SNR, SINR, RSSI, RSRP, RSRQ</li> <li>・ アンテナ、無線機側の変調方式の設定でスループット等</li> </ul>

(引用元 : <https://infocom.haradacorp.co.jp/5g/planet>)

### 2.2.3 ローカル5Gシステムの性能

本実証において構築したローカル5Gシステムの性能を以下に示します。

表 2-6 ローカル5Gシステムの性能

No.	項目	数値	備考
1	最大端末 収容数(システム全 体)	非開示	非開示
2	最大端末 収容数(DU 毎)	非開示	非開示
3	最大端末 収容数(RU 毎)	非開示	非開示
4	最大スループット (5G コア装置)	非開示	非開示
5	セルスループット (5GRU)	非開示	非開示

※ 実際の通信にあたっては、アンテナ⇄ 端末間の電波状況によって通信方式等が変化し、方式毎に最大スループットが異なる。環境や測定条件によって、記載した値より下がる場合がある。

### 2.2.4 システム構成製品概要

本実証において構築したローカル5Gシステムの構成製品概要を以下に示します。

#### 2.2.4.1 ローカル5G装置

##### (1) 5G コア装置 (5GC)

5GC のハードウェア諸元を以下に示します。



図 2-16 5GC 外観図

表 2-7 5GC ハードウェア諸元

No.	項目	諸元
1	メーカー名	DELL
2	製品名	非開示
3	外形寸法	非開示
4	質量	非開示

5	電源	非開示
6	消費電力	非開示
7	インターフェイス(実利用)	非開示
8	インターフェイス(最大スロット数)	非開示

## (2) 5G 基地局 (UPF/vCU)

UPF/vCU のハードウェア諸元を以下に示します。



図 2-17 UPF/vCU 外観図

表 2-8 UPF/vCU ハードウェア諸元

No.	項目	諸元
1	メーカー名	DELL
2	製品名	非開示
3	外形寸法	非開示
4	質量	非開示
5	電源	非開示
6	消費電力	非開示
7	インターフェイス (実利用)	非開示
8	インターフェイス (最大スロット数)	非開示

### (3) 5G 基地局 (DU)

DU のハードウェア諸元を以下に示します。



図 2-18 DU 外観図

表 2-9 DU ハードウェア諸元

No.	項目	諸元
1	メーカー名	SAMSUNG
2	製品名	Distributed Unit
3	外形寸法	非開示
4	質量	非開示
5	電源	非開示
6	消費電力	非開示
7	インターフェイス (実利用)	非開示
8	インターフェイス (最大スロット数)	非開示



#### (4) 5G 屋外用無線装置 (RU)

RU のハードウェア諸元を以下に示します。



図 2-19 5G RU 外観図

表 2-10 RU ハードウェア諸元

No.	項目	諸元
1	メーカー名	SAMSUNG
2	製品名	n79 Outdoor RU
3	周波数	非開示
4	アンテナ数	非開示
5	外形寸法	非開示
6	質量	非開示
7	電源	非開示
8	消費電力	非開示
9	インターフェイス	非開示

(5) 5G 無線装置用アンテナ（アンテナ）

アンテナのハードウェア諸元を以下に示します。

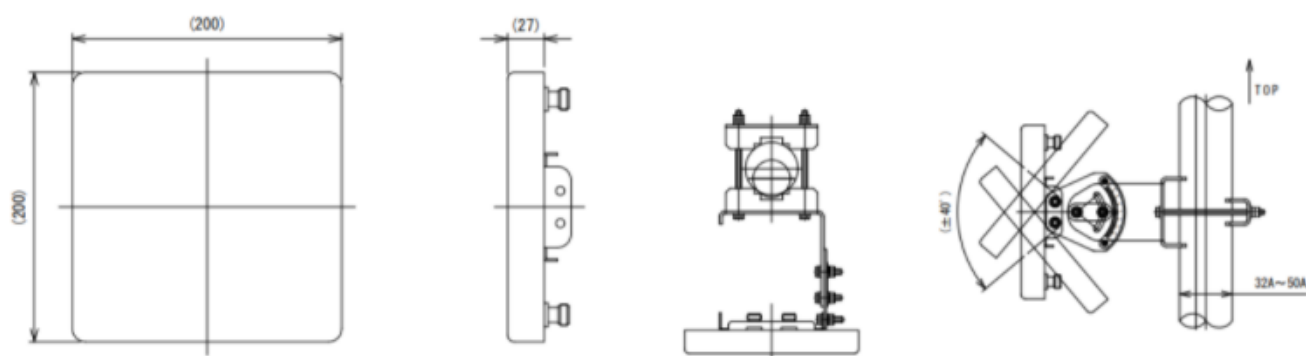
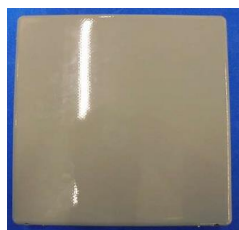


図 2-20 アンテナ外観図

表 2-11 アンテナハードウェア諸元

No.	項目	諸元
1	メーカー名	電気興業
2	製品名	X25-3545FTD
3	外形寸法	(W×H×D) : 200×200×27 mm
4	質量	2.0kg
5	電源	-
6	消費電力	-(RU より入力)
7	インターフェイス	-

## (6) L3SW

L3SW のハードウェア諸元を以下に示します。



図 2-21 L3SW 外観図

表 2-12 L3SW ハードウェア諸元

No.	項目	諸元
1	メーカー名	Dell
2	製品名	S4148F-ON
3	外形寸法	W×H×D : 431×44×457 mm
4	質量	9.14kg
5	電源	AC 110-240V
6	消費電力	433.6W
7	インターフェイス(実 利用)	10GBASE-SR×7 1000BASE-T×15 ※一時利用ポート含む
8	インターフェイス(ス ロット数)	SFP+×48 QSFP+×2 QSFP28×4

## (7) 整流器

整流器のハードウェア諸元を以下に示します。



図 2-22 整流器外観図

表 2-13 整流器ハードウェア諸元

No.	項目	諸元
1	メーカー名	KIKUSUI
2	製品名	PWX1500ML
3	外形寸法	W×H×D : 485×44×580 mm
4	質量	9.5kg
5	電源	AC 100V-240V
6	消費電力	DU+整流器 1200W

## (8) GPS アンテナ

GPS アンテナのハードウェア諸元を以下に示します。



図 2-23 GPS アンテナ 外観図

表 2-14 GPS アンテナハードウェア諸元

No.	項目	諸元
1	メーカー名	Panasonic
2	製品名	CCA32ST04
3	外形寸法	98.4mm×Φ90mm
4	質量	210g
5	電源	-
6	消費電力	-

## (9) 5G 端末 (UE)

UE のハードウェア諸元を以下に示します。



図 2-24 UE 外観図

表 2-15 UE ハードウェア諸元

No.	項目	諸元
1	メーカー名	京セラ
2	製品名	K5G-C-100A
3	外形寸法	W×H×D : 78 x 165 x 27 mm
4	質量	326g
5	電池容量	リチウムイオン電池 (6,000mAh)
6	位置測位	GPS/GLONASS/BeiDou/Galileo/みちびき/A-GPS
7	インターフェース	USB Type-C
8	通信方式	5G NR (Sub6/mmW)、Local5G (Sub6/mmW)、4G LTE™ (マルチバンド)
9	ネットワークタイプ	NSA/SA ※SA はローカル 5G でのみ使用可能。
10	SIM	nano SIM x2

### 2.2.4.2 自動運転システム

自動運転システムに関する構成製品概要は「4.3.3 自動運転車両・遠隔監視システム」に示します。

## 2.3 システム機能・性能・要件

技術実証に関するローカル5Gシステムと、課題実証に関する自動運転システムについて、本実証の実施及び目的の達成に必要な機能及び性能を具備することをご説明します。自動運転向け遠隔監視システムの運用に必要な、**システム全体のネットワーク要求仕様**を以下に示します。

表 2-16 遠隔監視システムの要求仕様

項目	条件
映像遅延	400msec 以内
画質	フロント画面 HD 画質, その他 VGA 以上 計 7 台のカメラ
フレームレート	9fps 以上
エリア	ターミナル 3～ターミナル 2 間連絡通路 全域

上記の要求仕様から、システム全体のうちローカル5Gシステム内での所要性能を下記のように整理しました。

### ・映像遅延

遅延時間に対する要求事項です。車載カメラから遠隔監視室に設置したディスプレイへ表示されるまでの遅延値となりますが、経路全体のうち**ローカル5Gシステム内の遅延時間の目標値を「50msec」と設定しました。**

### ・画質

上りスループットに対する要求事項です。HD (1080p) カメラ 1 台あたり 5Mbps が所要となるため、7 台すべてを HD (1080p) カメラとする想定では計 35Mbps となるため、**ローカル5Gシステム内のスループットの目標値を「上り 35Mbps」と設定しました。**

### ・フレームレート

1 秒あたりのフレーム数に対する要求事項です。フレームレートを 9fps 以上とするため、ローカル5Gシステム内のスループット及び遅延時間を上記目標値に設定しました。

### ・エリア

カバレッジエリアに対する要求事項です。2.2 章の通り、**走行エリア全域をカバーするもの**としました。また複数の基地局でカバーするため、基地局複数でエリア構成する場合には、基地局間をまたいでも上記3つの要求仕様を満たし続ける必要があることから、ハンドオーバーを実装しました。

## 2.4 免許及び各種許認可

無線局の運用に必要な無線局免許の申請にあたっては、本実証の代表機関である**東**

日本電信電話株式会社を免許人とする実験試験局として、採択後速やかに関東総合通信局に対して申請を行いました。免許期間は令和3年12月1日から令和4年5月31日までとしています。本免許取得までのスケジュールについては「表 2-17 実験試験局免許取得までのスケジュール」のとおりです。

表 2-17 実験試験局免許取得までのスケジュール

項目	2021年				2022年				
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
総通局事前相談	➡								
干渉調整		➡							
本申請			➡						
免許交付				★12/1					
交付期間				2021/12/1 ~ 2022/5/31					
航空局審査				★12/3	実証(2022/2/14~2022/2/28)				

免許申請の前提となる干渉調整については、関東総合通信局より NTT ドコモ様、日本電信電話株式会社様への干渉調整依頼を頂いたため、免許申請前に事前に実施し、問題ないことを確認しました。なお、本提案書の提出時点では、実証場所近傍にて、携帯電話事業者1社のミリ波5Gスポットが設置済み、2社の5Gエリア化予定が公開されております。

また今回使用を想定しているローカル5G無線機器は、全て技術基準適合証明を取得済みの機器であり、登録点検は省略が可能でした。

電気通信事業法の適用については、本実証において構築するローカル5Gシステムは免許人となる東日本電信電話株式会社が主体となり自己の需要として利用するため、電気通信事業には該当しないことから、本件に係る電気通信事業の届出は不要です。

IMSIは、「自らコアネットワークを構築して運用する場合」かつ「自らの通信の利用のみ」に指定されている「999-002」から始まる番号を使用するため、総務省への認定申請は不要です。

## 2.5 その他要件

課題実証で使用するシステムは、2021年11月~12月にかけて、NTT東日本ローカル5Gオープンラボにて今回導入するローカル5Gシステムと同様な環境を用意した上で、動作確認及び正常性試験を実施しました。

試験の結果は「4.4.1.1 章 効果検証」の「①事前実験 (NTT中央研修センタ NTT eCity Lab)」に記載いたします。

構築するローカル5Gシステムにおいては、3GPP 準拠の機器を使用し、将来的な機能拡張を考慮したシステム設計としました。拡張性については各機器の項に具体的に記載して

おります。

ローカル5G等を含む本実証で導入するシステムについては「開発供給計画認定」を受けた実績はございませんが、「IT調達に係る国の物品等又は役務の調達方針及び調達手続に関する申合せ」（2018年12月10日関係省庁申合せ）等に留意し、サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策を講じました。

機器メーカーであるサムスン社による具体的な対策状況は、以下の通りです。

- ・米国国家情報保証パートナーシップ（NIAP）製品準拠リスト（PCL）及びカナダサイバーセキュリティセンターの認定製品リストに認定されています。
- ・購買統合システム（G-SRM）を構築し、供給網（SCM）、情報共有、協力会社評価及び登録、リスク管理を実施しています。

また、代表機関である東日本電信電話株式会社はISMS認証を取得しており、情報セキュリティが十分に確保されるように適正に管理しています。また業務委託先に機密情報を提供するにあたり、安全かつ適切な取引を行うためのセキュリティ調査を行います。また業務委託先が、再委託を行う場合には再委託実施時の安全管理措置について確認します。確認項目は以下のとおりです。

- ① 機密情報を取扱う業務委託の実施にあたって、情報を適正に取り扱くと認められる企業等を選定するための基準が設けられている。
- ② 受託した業務の全部または一部を第三者に再委託する際は、弊社が求める水準またはそれと同等の水準を満たす事業者を選定することを、弊社との秘密保持契約において遵守する。
- ③ 機密情報を取扱う業務委託契約を締結する際は、情報の取扱い方法（受け渡しから廃棄まで）等の契約要件を明確化し、契約書を締結している。
- ④ 業務委託を実施する際は、締結した契約書に基づき、契約要件が履行されているか定期的及び不定期に確認（点検）している。

システム構築にあたり、サイバーセキュリティ対策の観点から、以下の対策を講じます。

- ・外部NWとしてIP-VPN回線とインターネットアクセス回線を準備しリモートメンテナンス拠点とはVPNでアクセス先を制限した接続としました。インターネットアクセス回線はインターネット接続用ルータを設置しフィルタリング機能により、インターネットからの不正アクセスなどに対するセキュリティ対策を実施しました。
- ・自動運転システムサーバはクラウドサービス上に構築されており、車載のシステムとはローカル5G及びキャリア網と、インターネットを経由して通信を行うことから、各機能群において下記の通り暗号化や権限管理を行っています。外部から映像配信ECUの制御にはSSL暗号化された通信路を経由するAWS IoTを利用します。映像の送信にはWebRTCを利用しますが、利用する複数の通信プロトコルはいずれのプロトコルも通信路は暗号化されます（Secure WebSocket, RTSP, DTLS）。遠隔監視卓からWebRTCサーバに接続する際はOpenID Connectによるユーザ認証を行い、個々の車両の映像へのアクセス権限はユーザ単位で管理され、権限を持たないユーザからの視聴リクエストは拒絶されます。



今回使用する機器はメーカーによって既に市販されている機器ではありますが、その性能改善（コアネットワークの機能向上など）については並行して開発を行い、順次ソフトウェアアップデート等を行い、実装しました。随時、メーカーより品質保証試験評価データ等入手し、その進捗・品質等を確認しました。

実証に用いる機材については実環境での実施開始前に各機器について適切な事前の品質確認を行いました。測定機材については所定の方法で適切に較正済みの機材を使用しました。ローカル5G機器についてはメーカーにてキッティング作業を事前に行い、現地搬入前に各機器の正常性確認を実施しました。

## 2.6 実証環境の運用

実証参加者等に対してシステム利用に関する説明会を実施する等、実証環境・内容について説明しました。説明会時に使用した配布資料一覧を以下に示します。

表 2-18 配布資料一覧

項目	配布資料
実証環境説明資料	実証環境説明資料
	L5G システム全体起動・停止手順書
	L3SW 起動停止手順書
	RU 起動停止手順書
	HarborPC 起動停止手順書
	CompactCore 起動停止手順書
	vCU-UPF 起動停止手順書
	DU・整流器起動停止手順書
	L3SW 正常性確認手順書
	USM 正常性確認手順書
	電波発射・停波手順書
	UE 正常性確認手順書
	セッション確認手順書
	オンライン視察会説明資料

実証期間中、機器メーカー及び構築ベンダとの支援体制を構築する等、実証参加者等からの問合せ等に対応するとともに、不具合が発生した場合に備え、迅速な対応体制を整備しました。具体的には、代表機関である、**実証期間中の問い合わせ対応や万一の機器故障時におけるオンサイト対応を実施できるよう、東日本電信電話株式会社内にローカル5Gシステムに関する保守受付体制を構築しました。**

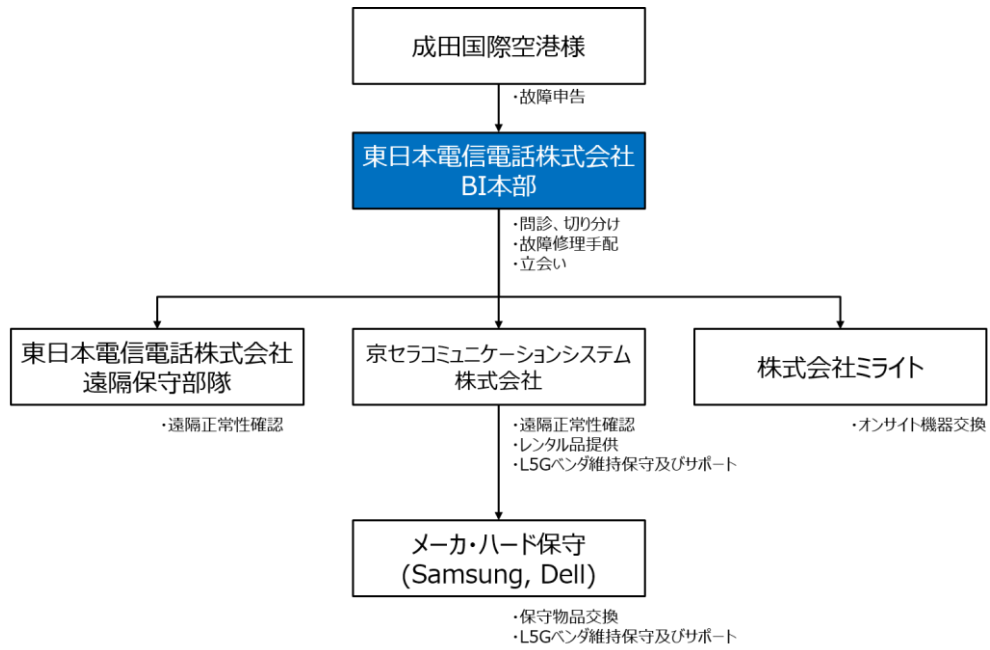


図 2-25 保守体制図

### 3. ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）

#### 3.1 実証概要

本実証では、空港の屋外環境における4.7GHz帯における電波伝搬特性の解明及び、同周波数帯を用いたローカル5Gを利用した自動運転車の走行に必要な伝送を想定したローカル5Gシステムの通信性能評価を行うことで、ローカル5Gシステムの効率的なエリア構築に関する技術の確立などに資する検討を行います。

- ・ a. ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定
- ・ b-I. 電波伝搬モデルの精緻化
- ・ b-IV. その他のテーマ他の無線システムからの被干渉確認
- ・ b-IV. その他のテーマ複数RU間のハンドオーバ

「その他のテーマ」について、詳細は各項に記載します。以上の技術検証を通じて、ローカル5Gの技術基準などの改定に貢献するべく、4.7GHz帯の空港の屋外環境における電波伝搬特性及び同周波数帯を用いたローカル5Gの性能に関する知見を得ることを目標とします。

表 3-1 技術実証の概要

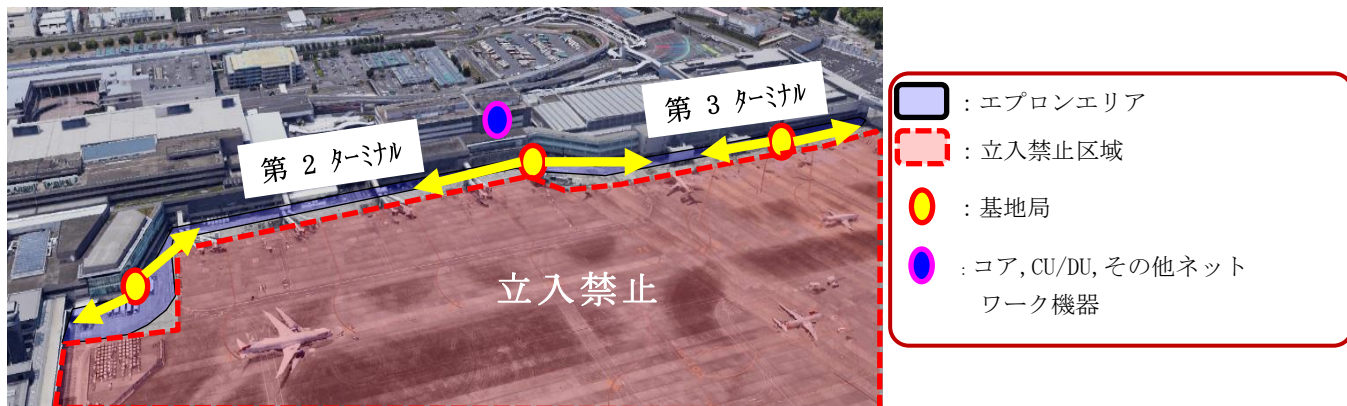
項目			該当 (○、×)
技術実証の 実施環境	周波数帯	4.7GHz 帯	○
		28GHz 帯	×
		キャリア 5G の周波数帯	100MHz 帯
	屋内外	屋内	×
		屋外	○
		半屋内	○
	周辺環境	都市部	×
		郊外	○
		開放地	×
		その他	×
テーマ別 実証	I. 電波伝搬モデルの 精緻化	K の精緻化	×
		S の精緻化	○
		R の精緻化	×
		その他の精緻化	×
	II. 電波反射板による エリア構築の柔軟化	実施の有無	×
	III. 準同期 TDD の追 加パターンの開発	TDD2 の検討	×
		TDD3 の検討	×
		TDD2、3 以外のパターンの検討	×
		追加パターンを具備した実機での検証	×
	IV. その他のテーマ	実施の有無	○

### 3.2 実証環境

本実証を行う環境は、空港内において航空機から乗員・乗客の乗降などを行う「エプロン」と呼ばれるエリアです。建物の配置密度などを考慮すると、「郊外地」（樹木、家屋等の散在する田園地帯、郊外の街道筋など移動局近傍に障害物はあるが密集していない地域）に準ずる環境と想定しています。提出済の提案書では、本実証を行う環境にて、「郊外地」だけでなく、「開放地」に近い環境（空港全体を俯瞰し建物から離れた誘導路や滑走路）も存在すると記載していました。しかしながら、現地調査及び空港会社との調整の結果、基地局の設置位置を当初の位置から変更することとなり、その結果として、カバーエリアに誘導路や滑走路が含まれなくなり、エプロンのみを含むこととなりました。そのため、本実証を行う環境は、「郊外地」と「開放地」の両特性を併せ持つのではなく、「郊外地」のみに準ずる環境であるとの前提に変更しました。

今回は第2旅客ターミナル及び第3旅客ターミナルのバス停留場及びその間の走行経路延べ700mほどをカバーエリアとしてローカル5G環境を構築しました。バス停留場はターミナルビルの2階部分を屋根とする屋外環境であり、走行経路はターミナルビルの外縁に沿った屋外環境です。基地局と走行経路の間には、場所によりボーディングブリッジや機体による遮蔽があり、屋外ながらも全体の見通しが悪い環境となっています。

実証エリアは全域が「制限区域」として立ち入りが規制されることから、実証の遂行にあたっては作業時間、日数に制約があります。また基地局から最長距離のエリア端等については、一部誘導路や滑走路上として立ち入りができないこともあり、空港会社及び関係各所と協議の上、航空機の運航への支障や危険性を及ぼすことがない地点で実施しました。



### 3.3 実証内容

#### 3.3.1 ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

##### 3.3.1.1 実証目標

本実証では、ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定を実施し、エリア算出法との比較を行うことで、その精緻化の実現に寄与できる知見・データの取得を実施します。また、ローカル5Gを用いたソリューションの所要性能を満たしているかを評価します。

具体的には、カバーエリア内の24の測定点において、受信電力を測定します。また、カバーエリア内の走行エリアにて20の測定点を定義し、受信電力及び伝送性能(アップリンク(以下、UL)/ダウンリンク(以下、DL)別の伝送スループット、伝送遅延等)を測定します。求める所要性能については、2.3項にて記載したローカル5Gの所要性能(ULスループット:35Mbps、伝送遅延:50ms)になります。測定後には、24の測定点における測定結果から、エリア算出法と実測値の比較を行い、差分がある場合には要因を分析します。また、20の測定点における測定結果から、ローカル5Gを用いたソリューションの所要性能を比較し評価するとともに、その性能を満たさない場合には、実測データに基づき必要なローカル5Gを構築する方策(必要な帯域幅及び送信電力等)を導出することで、本ユースケースにおけるソリューションとローカル5Gの関係性を明らかにすることを目標としました。

##### 3.3.1.2 評価・検証項目

本実証での評価・検証項目は、以下のとおりです。

表 3-2 評価・検証項目

項番	大項目	小項目
1	エリア算出法と実測値の比較	<ul style="list-style-type: none"><li>・カバーエリア及び調整対象区域内の24の測定点における受信電力の測定(測定点は、基地局ごとのカバーエリア及び調整対象区域のエリア端から選択)</li><li>・エリア算出法によって算出されたカバーエリア及び調整対象区域の閾値と実測値の比較</li><li>・(上記比較にて値が異なっている場合)閾値が実測される基地局相当の無線局からの距離の確認</li><li>・閾値と実測値の差分の要因分析</li></ul>
2	ローカル5Gを用いたソリューションの所要性能と実測値の比較	<ul style="list-style-type: none"><li>・走行エリアの20の測定点における、受信電力及び伝送性能(UL/DL別の伝送スループット、RTT)の測定</li><li>・実測した伝送性能とローカル5Gを用いたソリューションの所要性能との比較</li><li>・(実測した伝送性能がローカル5Gを用いたソリューションの所要性能を実現できない場合、)実測データに基づいた必要なローカル5Gを構築する方策(必要な帯域幅及び送信電力等)の導出</li><li>・(参考)レイトレース法と実測値の比較</li></ul>

「ローカル5Gを用いたソリューションの所要性能と実測値の比較」においては、走行エリアを走行する自動運転バスに対して、ローカル5G環境が常に所要性能を満たしているかを確認する必要があります。すなわち、全ての測定点は、走行エリアに沿ったものでなければなりません。一方、「エリア算出法と実測値の比較」においては、走行エリアと関係なく、測定点をカバーエリア及び調整対象区域のエリア端から選択して定義しています。そのため、仮に、「ローカル5Gを用いたソリューションの所要性能と実測値の比較」においても、それらの測定点を用いた場合、測定点が走行エリアから逸れた場所に位置する場合があります等、全ての測定点を走行エリアに沿って分布させることが困難でした。そのため、「ローカル5Gを用いたソリューションの所要性能と実測値の比較」における測定点は、「エリア算出法と実測値の比較」における24測定点と分けて定義しました。

### 3.3.1.3 評価・検証方法

本実証での条件は、以下の表 3-3 のとおりです。受信電力についてはエリアテスタ等を用いて測定を実施しました。スループット及び遅延の測定については、無線ネットワーク測定ツールを利用し、純粋な無線区間(NR-Layer1 物理プロトコル)の測定を実施しました。計測区間につきましては、極力無線区間のみに近い区間としてL3SWに接続したPC~UEに接続したPC間にて、無線ネットワーク測定ツールを使用し「iperf」「Ping試験」による測定を行いました。なお、測定器の詳細については2.2「ネットワーク・システム構成」に記載しております。

表 3-3 測定条件

項目	条件	対応図表
測定ツール	<ul style="list-style-type: none"> <li>・受信電力：エリアテスタ</li> <li>・伝送スループット：無線ネットワーク測定ツール</li> <li>・RTT測定：Round Trip Timeの測定</li> </ul>	図 3-10

#### (1) エリア算出法と実測値の比較

本実証にて実施しました試験の手順は、以下の表 3-4 のとおりです。

表 3-4 試験手順

工程	実施内容	対応図表
1	エリア算出法を基にしたエリアシミュレーションにより、カバーエリア及び調整対象区域を算出・図示	図3-2
2	カバーエリア及び調整対象区域の閾値と実測値の比較を行う測定ポイントを定義 ※下記分類で、カバーエリア及び調整対象区域のエリア端の測定ポイントを設置のうえ、測定ポイントは以下分類で定義し、選定 <b>【LOS環境】</b>	図3-3～ 図3-8

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LOS環境ポイント(測定ポイントから見た基地局)：12箇所</li> <li>【NLOS環境】</li> <li>・ボーディングブリッジによる半屋外内部の測定ポイント(部分的に遮蔽された閉空間)：6箇所</li> <li>・建造物に遮蔽された屋内・屋外及び建造物間のスポットの空間スペース：6箇所</li> </ul>	
3	2で定義した測定ポイントにて測定ツールを用いて受信電力を測定 閾値と実測値が異なっている場合、GPSシステムを用いて閾値が実測される点と基地局相当の無線局との距離を確認	—



図 3-2 エプロンエリア エリア算出法より算出したカバーエリア及び調整対象区域 (全体)  
 ※青線：カバーエリア、赤線：調整対象区域(以下、同様)

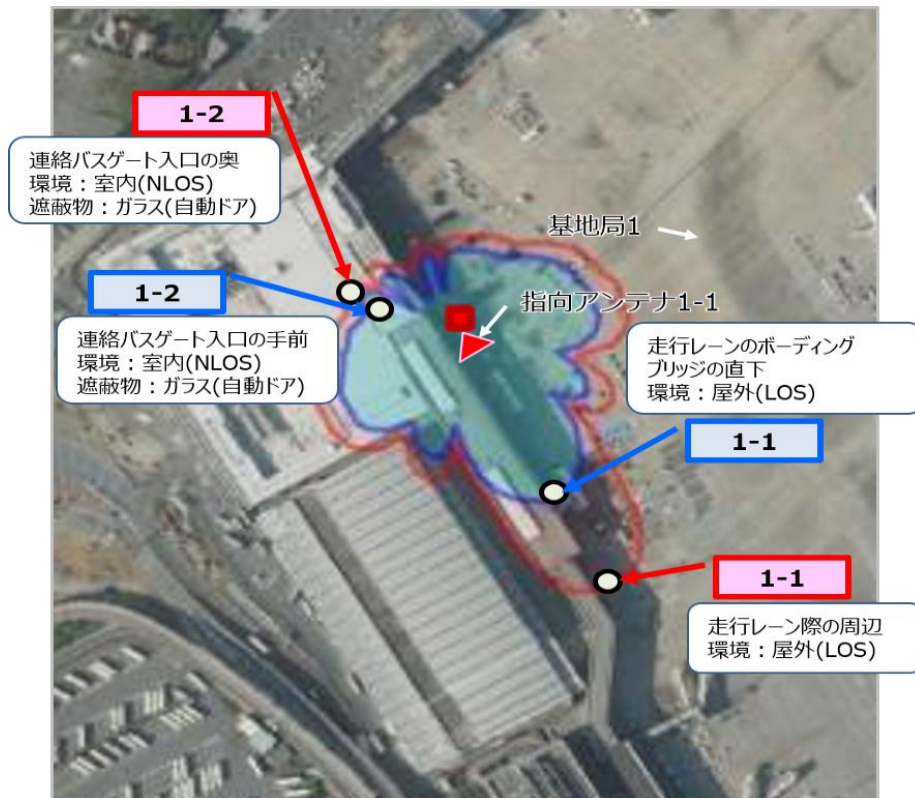


図 3-3 エプロンエリア エリア算出法より算出したカバーエリア及び調整対象区域と測定ポイント (Site1-1)



図 3-4 エプロンエリア エリア算出法より算出したカバーエリア及び調整対象区域と測定ポイント (Site1-2)





図 3-5 エプロンエリア エリア算出法より算出したカバーエリア及び調整対象区域と測定ポイント (Site2-1)



図 3-6 エプロンエリア エリア算出法より算出したカバーエリア及び調整対象区域と測定ポイント (Site2-2)

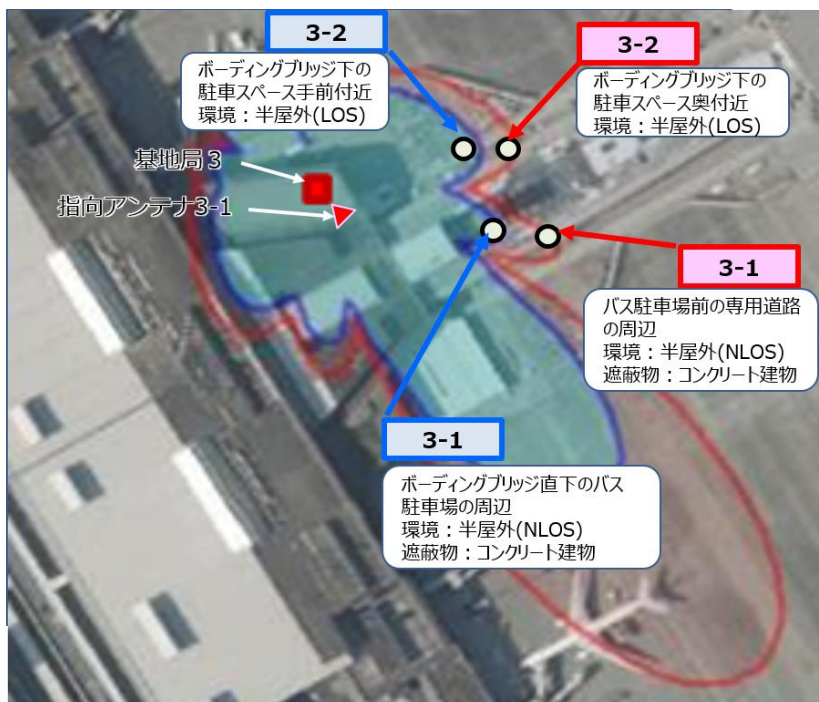


図 3-7 エプロンエリア エリア算出法より算出したカバーエリア及び調整対象区域と  
測定ポイント (Site3-1)



図 3-8 エプロンエリア エリア算出法より算出したカバーエリア及び調整対象区域と  
測定ポイント (Site3-2)

## (2) ローカル5Gを用いたソリューションの所要性能と実測値の比較

本実証にて想定している試験の手順は、以下の「表 3-5 評価手順」のとおりです。

表 3-5 試験手順

工程	実施内容	対応図表
1	測定ポイントについては、走行エリア内バス走行レーン上に20の測定ポイントを設置 ・自動走行バスの走行ルートに合わせ、走行レーン外側を歩行(動的測定)しながら20の測定点の測定を実施 ・各測定ポイントに2分程度止まり測定データを取得し、次項測定ポイント移動時も測定を継続しながら測定を実施	走行エリア 図3-9
2	1で定義した測定ポイントにて、測定ツールを用いて受信電力及び伝送性能(UL/DL別の伝送スループット、RTT測定)の測定を実施	—
—	参考として、レイトレース法と実測値の比較を行うため、レイトレース法によるカバーエリアのシミュレーションを実施	



図 3-9 走行エリアの測定ポイント

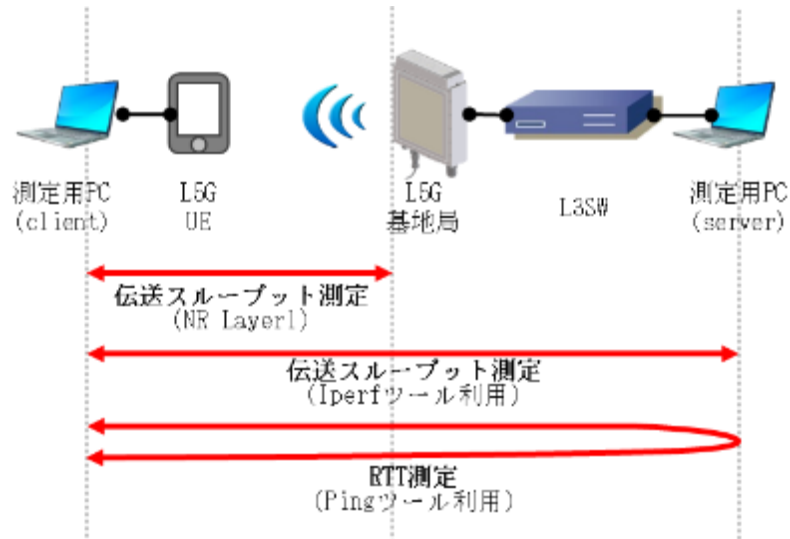


図 3-10 伝送性能測定区間 模式図

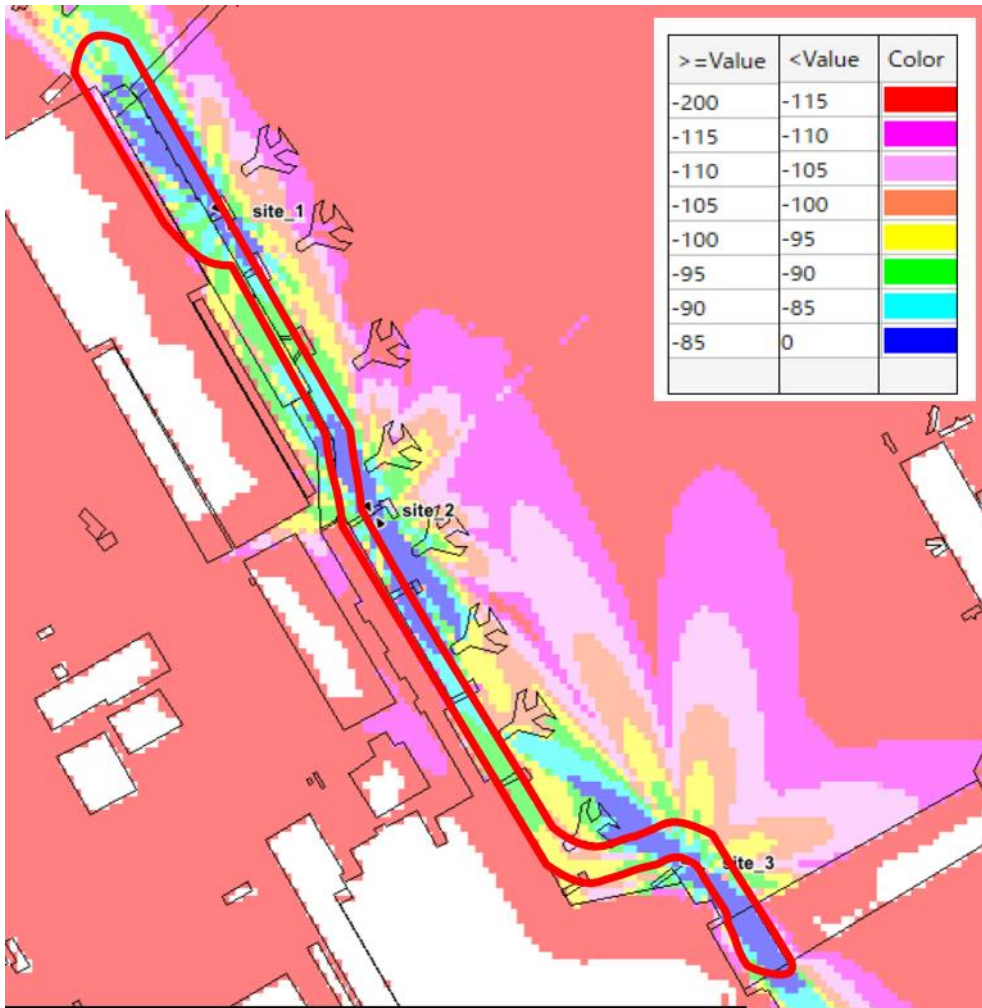


図 3-11 レイトレース法を用いたシミュレーション結果(赤枠：走行エリア)

### 3.3.1.4 実証結果及び考察

#### (1) エリア算出法と実測値の比較の実証結果

- ① エリア算出法によって算出されたカバーエリア及び調整対象区域を図示しました。  
(図 3-2～3-8 エプロンエリア エリア算出法より算出したカバーエリア及び調整対象区域と測定ポイント (Site1-1, 1-2, 2-1, 2-2, 3-1, 3-2) )
- ② エリア算出法での閾値と各測定ポイントでの実測値の比較を行いました。

表 3-6 エプロンエリア エリア算出法より算出したカバーエリアでの閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定ポイント	測定場所 3D 距離[m]	エリア算出法での 閾値[dBm] (注)	実測値[dBm] (中央値)	差分[dB]
カバーエリア 1-1	100.5	-116.0	-66.6	-49.4
カバーエリア 1-2	35.9	-93.5	-80.4	-13.1
カバーエリア 1-3	106.6	-111.9	-72.2	-39.7
カバーエリア 1-4	223.1	-123.1	-87.4	-35.7
カバーエリア 2-1	183.9	-115.6	-85.5	-30.1
カバーエリア 2-2	148.1	-113.2	-88.3	-24.9
カバーエリア 2-3	108.0	-113.0	-84.6	-28.4
カバーエリア 2-4	45.2	-100.2	-108.0	7.8
カバーエリア 3-1	76.4	-110.8	-85.0	-25.8
カバーエリア 3-2	74.4	-114.6	-85.8	-28.8
カバーエリア 3-3	85.0	-124.1	-64.1	-60.0
カバーエリア 3-4	87.1	-100.0	-80.9	-19.1

(注) 現地での測定場所の制限の基づく移動や基地局アンテナの合成利得等を考慮し、算出式に基づいて計算しました

表 3-7 エプロンエリア エリア算出法より算出した調整対象区域での閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定ポイント	測定場所 3D 距離[m]	エリア算出法での 閾値[dBm] (注)	実測値[dBm] (中央値)	差分[dB]
調整区域 1-1	156.2	-122.7	-82.2	-40.5
調整区域 1-2	39.6	-87.8	-90.1	2.3
調整区域 1-3	311.7	-125.5	-98.3	-27.2

調整区域 1-4	270.8	-122.5	-102.2	-20.3
調整区域 2-1	294.8	-122.8	-81.1	-41.7
調整区域 2-2	149.5	-128.4	-108.2	-20.2
調整区域 2-3	210.4	-122.8	-77.2	-45.6
調整区域 2-4	50.8	-104.6	-102.7	-1.9
調整区域 3-1	100.8	-111.2	-93.1	-18.1
調整区域 3-2	82.4	-116.9	-93.3	-23.6
調整区域 3-3	105.4	-130.3	-77.0	-53.3
調整区域 3-4	101.4	-105.4	-94.4	-11.0

(注) 現地での測定場所の制限の基づく移動や基地局アンテナの合成利得等を考慮し、算出式に基づいて計算しました

- ③ ②での比較結果より値が異なっているポイントにおける、閾値が実測された基地局相当の無線局からの距離に関しては、後述の「(3) 考察と方策について」に記載しました。

## (2) ローカル5Gを用いたソリューションの所要性能と実測値の比較の実証結果

- ① 走行エリアの測定ポイントを図示しました。(図 3-9 走行エリアの測定ポイント)
- ② 上記①で示した測定ポイントでの受信電力及び伝送性能 (UL/DL の伝送スループット、RTT 測定) を以下表でまとめました。この時、ローカル5Gを用いたソリューションの所要性能も同じ表にまとめ、達成しなかった測定ポイントを明らかにしました。
- ③ 参考として、レイトレース法によるカバーエリアのシミュレーションを行い、実測値との比較を行いました。

表 3-8 走行エリア 各測定ポイントでの受信電力及び伝送性能

測定 ポイ ント	受信電力 [dBm] (中央値)	DL-T-put [Mbps]	UL-T-put [Mbps]	Iperf スループット値		RTT [ms]
				DL スループット [Mbps]	UL スループット [Mbps]	
1	-93.6	897	116	769	104	13.7
2	-94.7	721	116	624	109	13.9
3	-90.7	546	116	487	112	13.6
4	-97.1	738	116	647	113	14.5
5	-90.1	726	116	626	113	13.7
6	-74.1	797	116	678	113	16.7
7	-92.3	849	116	725	101	16.1
8	-92.7	529	116	434	113	13.6
9	-83.4	714	116	621	113	14.1
10	-103.0	680	88	598	76	15.7
11	-104.2	677	76	582	66	15.7
12	-93.6	673	108	582	92	11.7
13	-99.6	955	116	817	112	15.7
14	-97.0	740	88	657	76	14.8
15	-84.0	811	116	725	113	13.0
16	-98.0	639	114	548	102	12.9
17	-90.8	581	116	493	113	13.0
18	-87.8	814	116	713	113	13.1
19	-99.5	598	116	498	108	12.1
20	-89.2	605	111	521	96	13.8



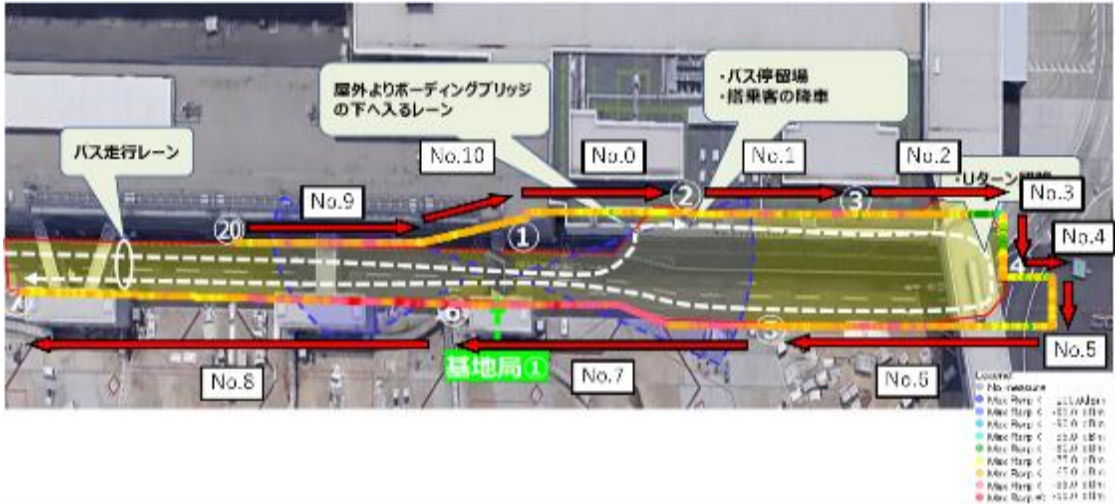


図 3-12 走行エリア測定 エリアマップ図 (基地局①走行エリア)

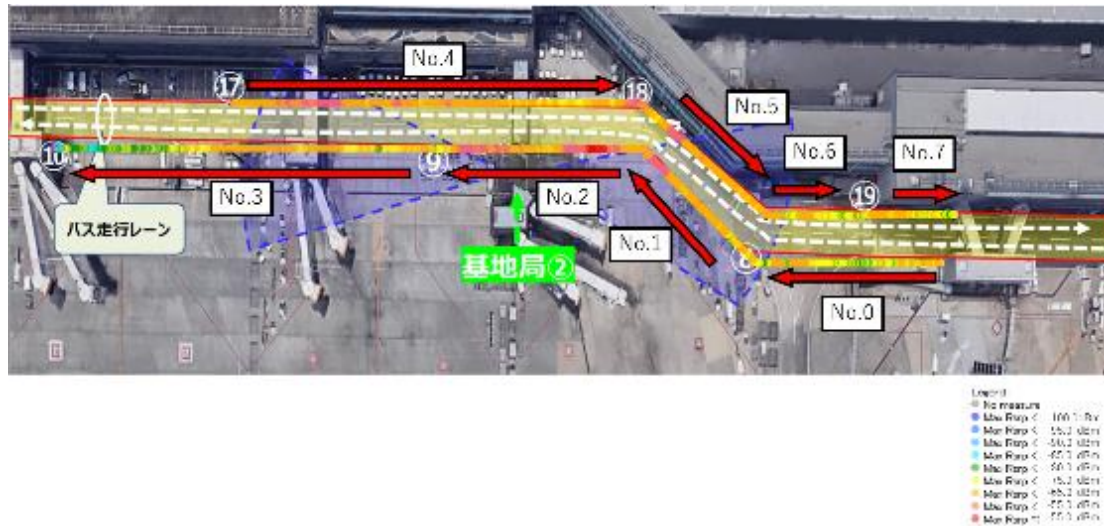


図 3-13 走行エリア測定 エリアマップ図 (基地局②走行エリア)

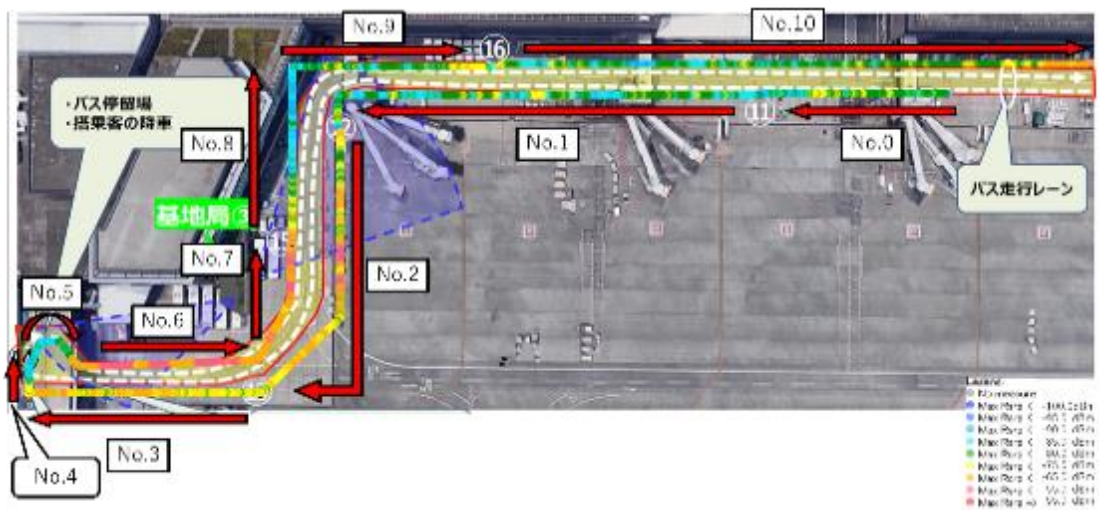


図 3-14 走行エリア測定 エリアマップ図 (基地局③走行エリア)

### (3) 考察と方策について

#### ① エリア算出法と実測値の比較

エリア算出法と実測値の比較において、シミュレーション結果と差分が出た測定ポイントについて、以下の観点において考察を行いました。

基地局から測定ポイントまでの区間を、以下の伝搬損失（パスロス）にて定義し、各測定ポイントにおける各種伝搬損失を算出しました。

表 3-9 伝搬損失(パスロス)の定義

伝搬損失	算出の定義
測定値 SS-RSRP から算出した伝搬損失	<ul style="list-style-type: none"><li>Pr=Pt+Gt-Lt-L+Gr-Lr より算出した[L]の値</li><li>この際、Pr(受信電力)が 100MHz 帯域である一方、実測値 SS-RSRP が 30KHz 帯域であるため帯域換算を実施</li></ul>
電波法関連審査基準算出式による伝搬損失	<ul style="list-style-type: none"><li>電波法関連審査基準算出式を用いて計算した伝搬損失の値</li><li>審査基準の別紙(16)にある-8 dB を含めた値</li></ul>
自由区間伝搬による伝搬損失	<ul style="list-style-type: none"><li>自由空間損失=<math>20\text{Log}(4\pi d/\lambda)</math> により算出</li><li>審査基準の別紙(16)にある算出式の①式と同じ</li><li>上記と同様に-8 dB を含めた値</li></ul>

各測定ポイントにおける各種伝搬損失を下記（表 3-10）に記載すると共に、測定ポイントの特性を分類（LOS、NLOS）し特性に分けて検討を行いました。

表 3-10 各測定ポイントにおける伝搬損失（パスロス）（マイナス表記）

測定点	測定 SS-RSRP から算出した伝搬損失 [dB] (注 1)	審査基準算出式による伝搬損失 [dB] (注 1)	自由空間損失 [dB] (注 1)	測定ポイントの分類 (表 3-4 による) (注 2)
カハ <sup>°</sup> -エリア 1-1	-70.4	-119.8	-94.2	LOS
カハ <sup>°</sup> -エリア 1-2	-72.2	-85.3	-85.2	LOS
カハ <sup>°</sup> -エリア 1-3	-81.1	-120.8	-94.8	LOS
カハ <sup>°</sup> -エリア 1-4	-96.3	-132.0	-101.1	NLOS、半屋外
カハ <sup>°</sup> -エリア 2-1	-98.9	-129.0	-99.5	LOS
カハ <sup>°</sup> -エリア 2-2	-100.9	-125.8	-97.7	NLOS、半屋外
カハ <sup>°</sup> -エリア 2-3	-92.5	-120.9	-94.8	LOS
カハ <sup>°</sup> -エリア 2-4	-98.5	-90.7	-87.2	NLOS、建物遮蔽
カハ <sup>°</sup> -エリア 3-1	-82.1	-107.9	-91.8	NLOS、建物遮蔽
カハ <sup>°</sup> -エリア 3-2	-78.2	-107.0	-91.6	LOS
カハ <sup>°</sup> -エリア 3-3	-51.6	-111.6	-92.6	LOS
カハ <sup>°</sup> -エリア 3-4	-93.3	-112.4	-92.9	LOS
調整区域 1-1	-86.0	-126.5	-98.1	LOS
調整区域 1-2	-88.5	-86.2	-86.1	NLOS、建物遮蔽
調整区域 1-3	-110.9	-138.1	-104.0	NLOS、半屋外
調整区域 1-4	-114.6	-134.9	-102.8	NLOS、半屋外
調整区域 2-1	-94.6	-136.3	-103.6	LOS
調整区域 2-2	-105.8	-126.0	-97.8	NLOS、建物遮蔽
調整区域 2-3	-85.4	-131.0	-100.6	LOS
調整区域 2-4	-93.4	-95.3	-88.3	NLOS、建物遮蔽
調整区域 3-1	-99.1	-117.2	-94.2	NLOS、建物遮蔽
調整区域 3-2	-86.8	-110.4	-92.5	NLOS、半屋外
調整区域 3-3	-64.5	-117.8	-94.7	NLOS、半屋外
調整区域 3-4	-106.5	-117.5	-94.5	NLOS、建物遮蔽

(注 1) 伝搬損失はエリア算出式に基づき、-8 dB の損失を含めた数値としました

(注 2) 現場の状況により、図 3-3～図 3-8 にある分類とは一部異なる分類としました

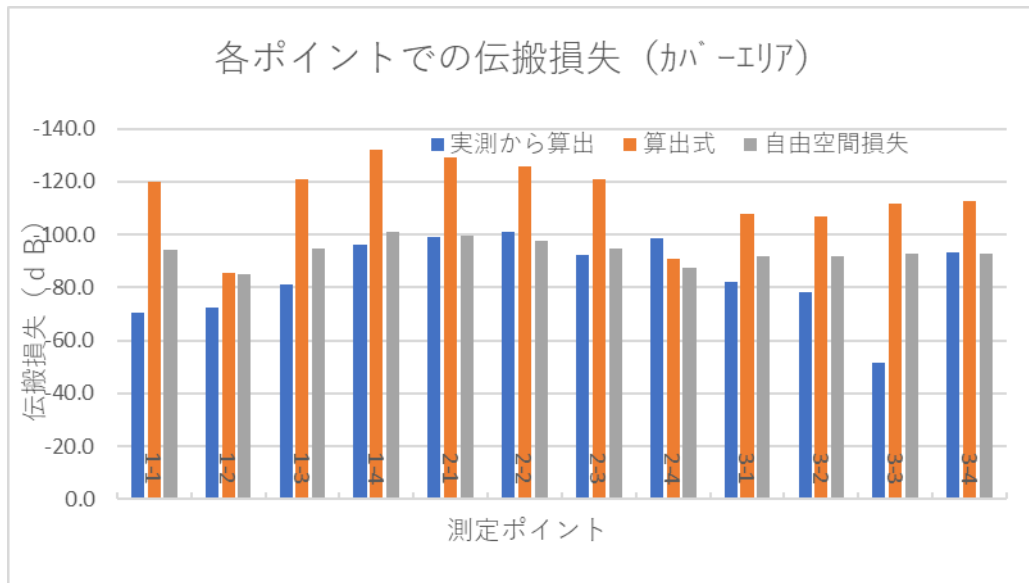


図 3-15 測定ポイントにおける各種伝搬損失の比較 (カバーエリア)

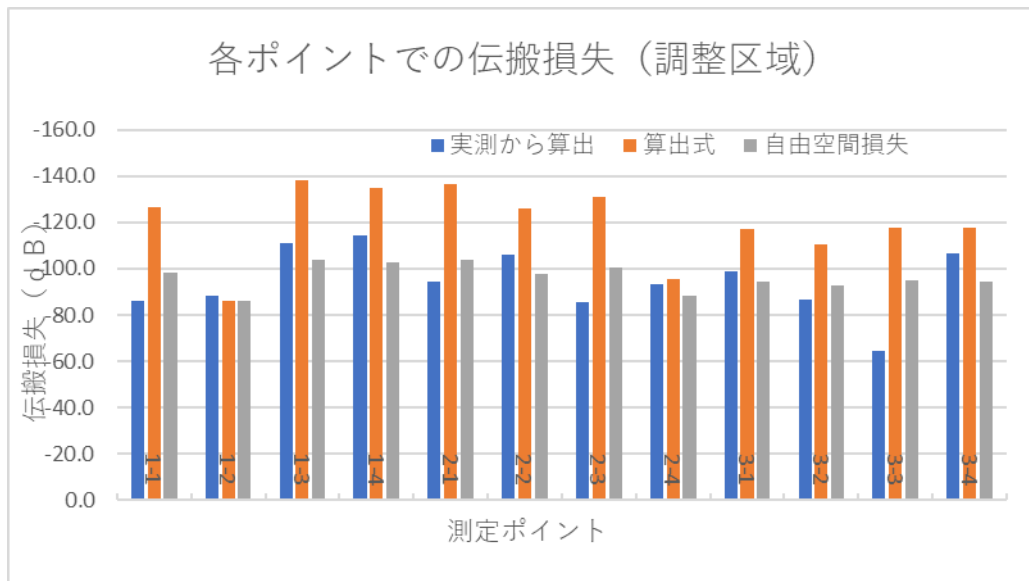


図 3-16 測定ポイントにおける各種伝搬損失の比較 (調整対象区域)

(ア)見通し内伝搬 (LOS 環境) における電波伝搬

表 3-10 各測定ポイントにおける伝搬損失 (パスロス) における LOS 環境のデータを抽出しグラフ化したものを示します。(グラフ中では、カバーエリア：青、調整区域：赤)

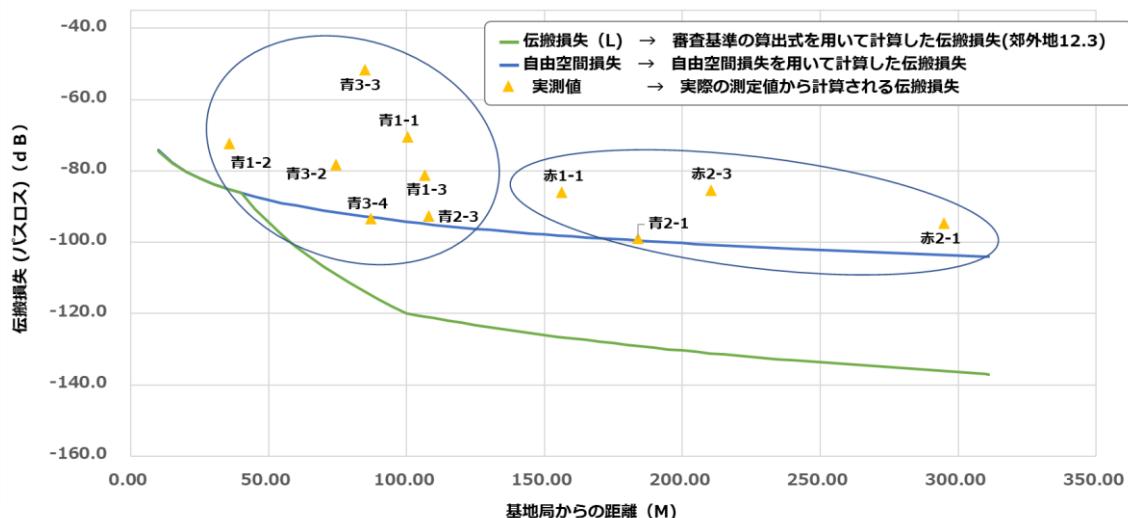


図 3-17 LOS 環境における電波伝搬損失（実測値と算出式）  
（カバーエリア：青、調整区域：赤）

実測値の分布は基地局からの距離で 100m 近傍までの測定ポイントと、150m 以遠の 2 つに分類されます。全般的には測定ポイントから基地局が目視できるような環境であり加えて、滑走路から続くエプロンエリア中心であり平滑にアスファルトで整備され空間が続きます。このため電波は直接波を中心に、地上からの反射波や一部周囲の建物や乗り物、構造物等での反射の合成波となります。見通し内の直接波が中心であり伝搬損失も自由空間損失の値に近くなったと想定します。

【100m 以下の近傍域（LOS 環境）】

100m 近傍までは、実証環境の関係から、周囲に鉄柱やボーディング用の移動階段など多数あり、これらによる遮蔽や反射・散乱がデータに影響したと考えられます。また、測定ポイントによっては、基地局のサイドローブを使った測定となり、受信レベルのバラツキや伝搬損失（パスロス）の計算値が大きくなったため、データにバラツキが出たと想定します。

【150m 以遠（LOS 環境）】

150m 以遠の測定ポイントでは、直接波と反射波との経路差も小さくなると想定され、伝搬損失（パスロス）の計算値も安定して収束していると考えられます。

(イ)見通し外伝搬（NLOS 環境）における電波伝搬

前節(ア)同様に表 3-10 各測定ポイントにおける伝搬損失（パスロス）から NLOS 環境のデータを抽出しグラフ化したものを示します。図 3-18 及び図 3-19 に示すように見通し外(NLOS)環境の測定ポイントの設定においては、次の 2 つに分類しグラフ化し検討します。

表 3-11 見通し外(NLOS)環境の分類

分類	測定ポイント数
ボーディングブリッジ下などの半屋外内部的に部分的に遮蔽された閉空間スペース	6箇所（半屋外）
建造物に遮蔽された屋内・屋外及び建造物間のスポット空間スペース	7箇所（建物遮蔽）



図 3-18 ボーディングブリッジ下などの半屋外閉空間スペース

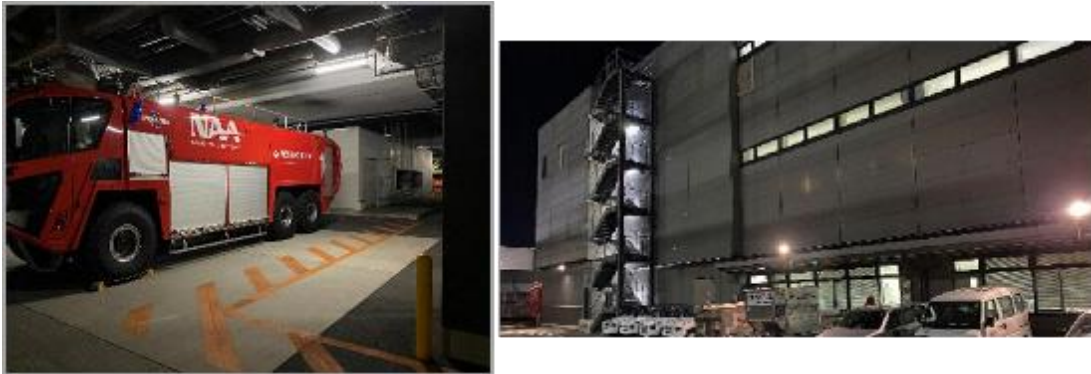


図 3-19 建造物に遮蔽された空間スペース

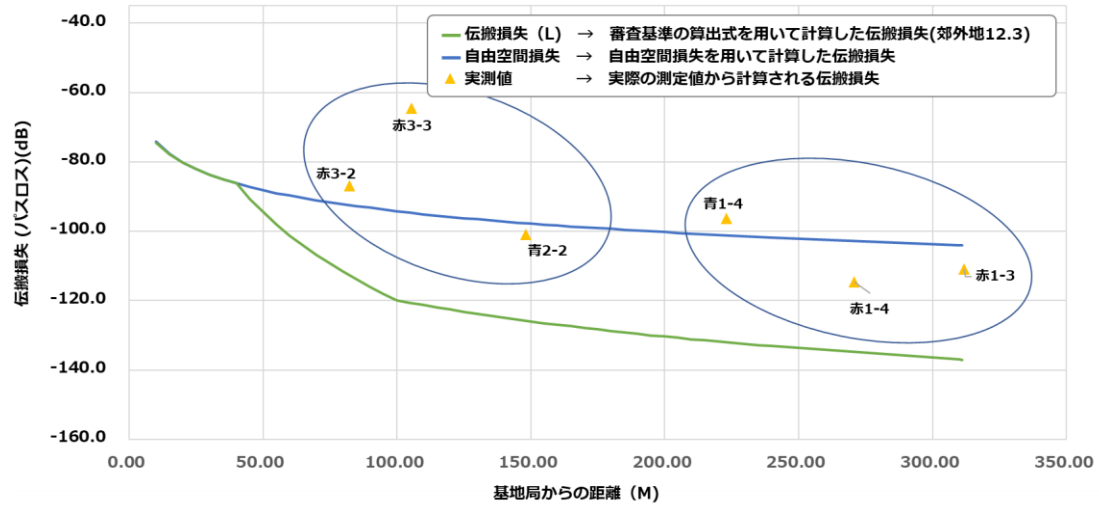


図 3-20 NLOS 環境（半屋外）における電波伝搬損失（実測値と算出式）  
（カバーエリア：青、調整区域：赤）

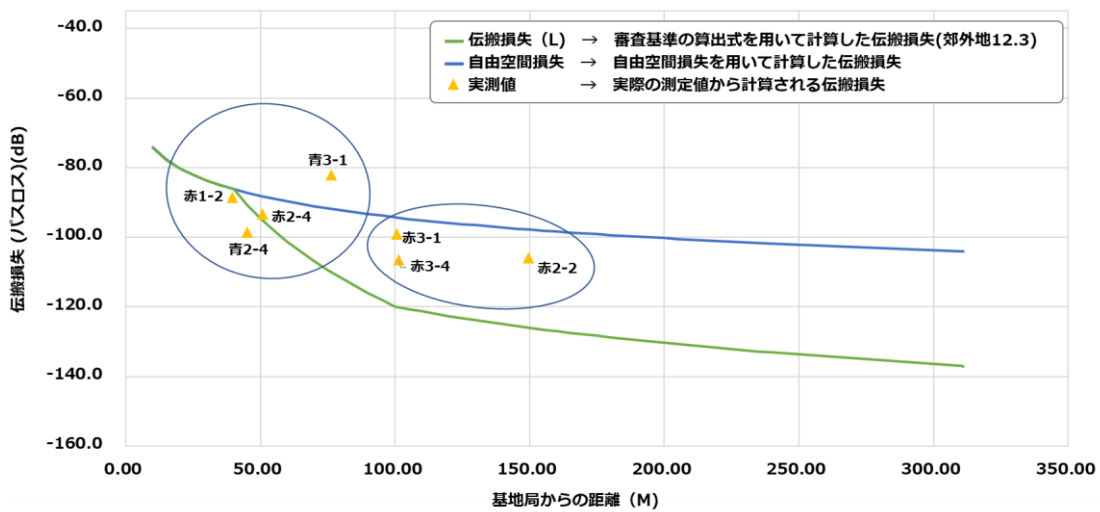


図 3-21 NLOS 環境（建物遮蔽）における電波伝搬損失（実測値と算出式）  
（カバーエリア：青、調整区域：赤）

NLOS 環境（半屋外）と NLOS 環境（建物遮蔽）については、100m までの近傍域、100m ~150m 程度の中距離域、200m 程度以遠の長距離域に分類できると考え、検討を行いました。

【100m 以下の近傍域（NLOS 環境）】

100m までの近傍域（NLOS 環境（半屋外））では、比較的近距离で、近辺の柱やアスファルトの反射波が想定され、直接波と反射波の経路差が大きいと想定します。また、一部の測定ポイントでは、基地局のアンテナのサイドローブでの落ち込み部分の使用となり、デー

タが大きく左右されたと考えます。外部アンテナの指向性を以下の図 3-22 に示します。

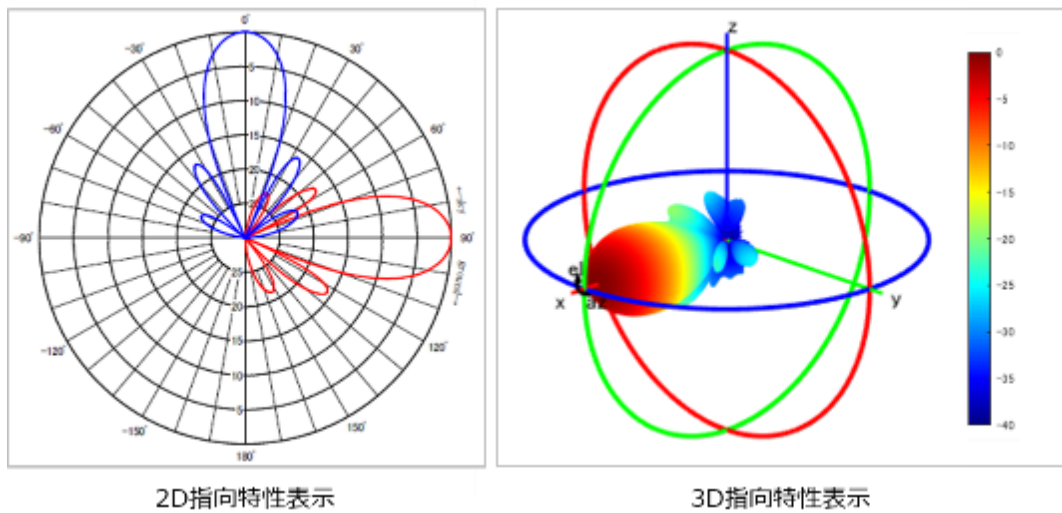


図 3-22 外部アンテナの指向特性

上図左側の 2D 指向特性の通り、水平角  $20^\circ$  に強い指向性を持つアンテナ特性となりますが、実際のアンテナ指向性は図のような綺麗な放射線状の形成にはならず、水平の左右方向は最大利得に対して  $-25 \sim -30$  dB 程度となります。本実証では送信出力 37 dBm の高出力であることから、水平の左右方向にも電波が到達する結果となったことも、換算誤差のバラツキが出た要因と考えます。

#### 【100m～150m の中距離域 (NLOS 環境)】

100m～150m 程度の中距離域 (NLOS 環境 (半屋外、建物遮蔽)) では、障害物の占有度合いが中程度以下で比較的影響が少なく、また、反射波についても、経路差の影響も近傍域よりは少なくなると想定しました。ゆえに、本検証では、「郊外地」よりも 20 dB 程度の減衰量が削減し、自由空間損失の曲線に近くなったと考えます。



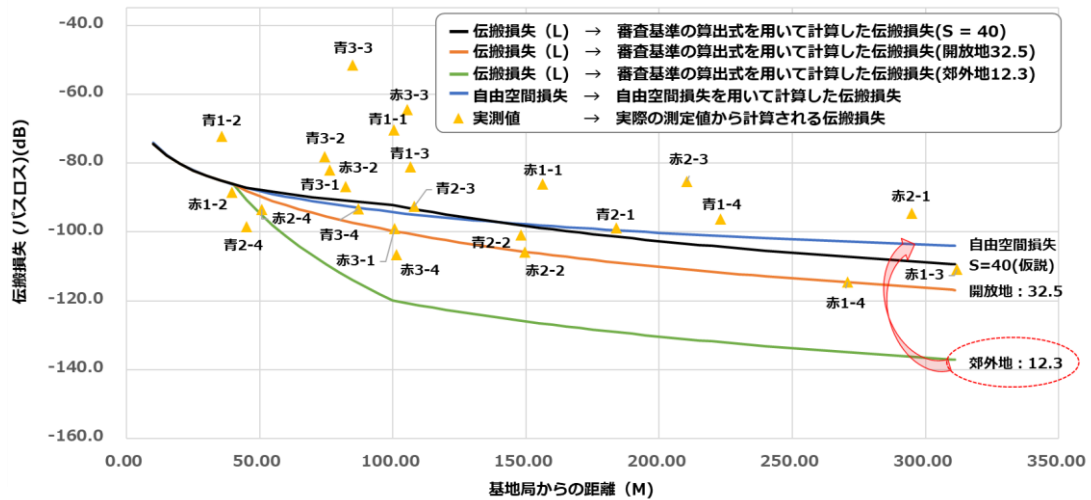


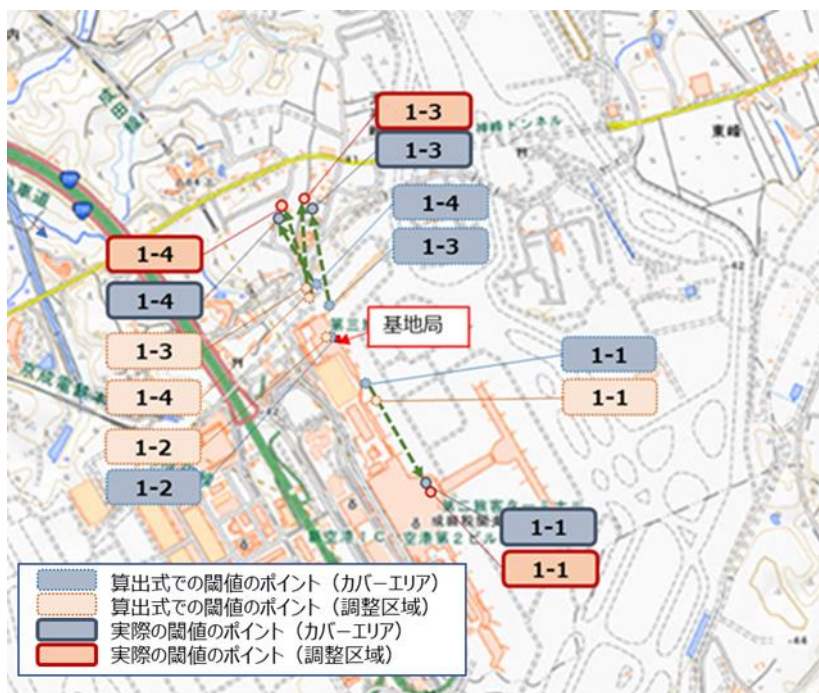
図 3-23 実測からの伝搬損失と各補正值とを比較した曲線

【200m 以遠の長距離域 (NLOS 環境)】

200m 程度以遠の長距離域 (NLOS (建物遮蔽)) においては、空港特有の整地されたアスファルト面の空間と、空港と外部との緩衝エリアや様々な建物のある空間が混合されています。本実証では、前者の「空港特有の整地されたアスファルト面の空間」の特性を反映し、障害がない自由空間での伝搬に近似していると考えます。また、後者の「緩衝エリア」や一般の住宅、道路などの割合が大きくなれば、伝搬特性も郊外地や都市での伝搬特性の要素がより強く反映されたものになると予想します。

(ウ) 閾値を示す実測ポイントについて

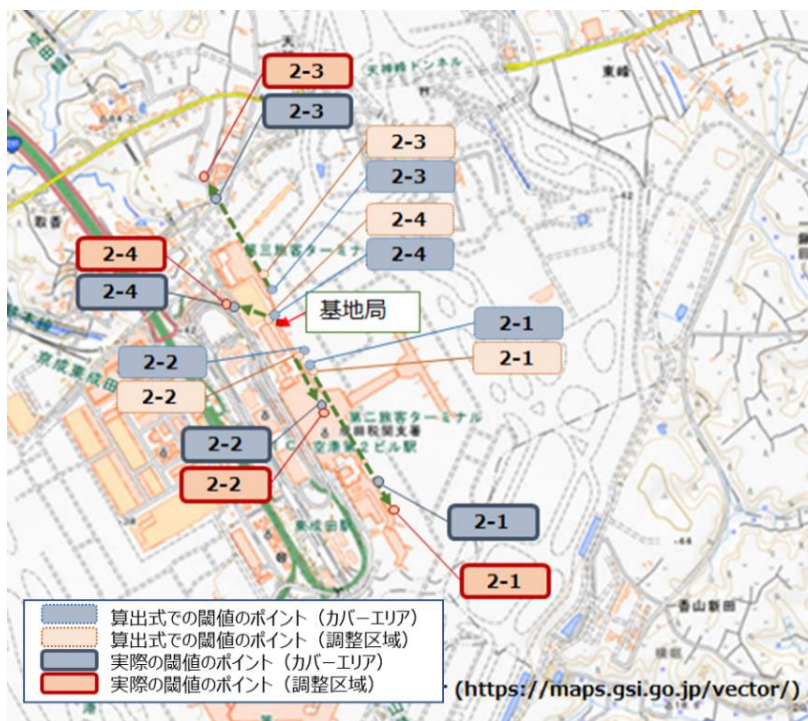
前述の LOS 並びに NLOS (半屋外環境、建物遮蔽環境) における電波伝搬の特性を考慮した上で、カバーエリア及び調整対象区域の閾値を示すポイントの場所を検討しました。当初想定していたエリア算出法での閾値と、実測した閾値との差分から、遠方の延長線上で自由空間損失をもとに距離の差分を考え、必要に応じて電波を遮蔽するような構造物がある場合には、その損失を考慮することとしました。上記の手順にて閾値を示すポイントを探して実測しました。測定結果を下記の図 3-24～図 3-26 に示します。



地図の出典: 地理院地図Vector (<https://maps.gsi.go.jp/vector/>)

測定ポイント	閾値が実測された 基地局からの距離 [m]
1-1	605.5
1-2	入室不可
1-3	466.5
1-4	485.5
1-1	624.4
1-2	入室不可
1-3	488.8
1-4	519.4

図 3-24 実測した閾値ポイントと基地局から閾値ポイントの距離 (基地局①)



(<https://maps.gsi.go.jp/vector/>)

測定ポイント	閾値が実測された 基地局からの距離 [m]
2-1	739.2
2-2	370.3
2-3	524.4
2-4	187.0
2-1	847.7
2-2	401.4
2-3	615.4
2-4	202.4

図 3-25 実測した閾値ポイントと基地局から閾値ポイントの距離 (基地局②)

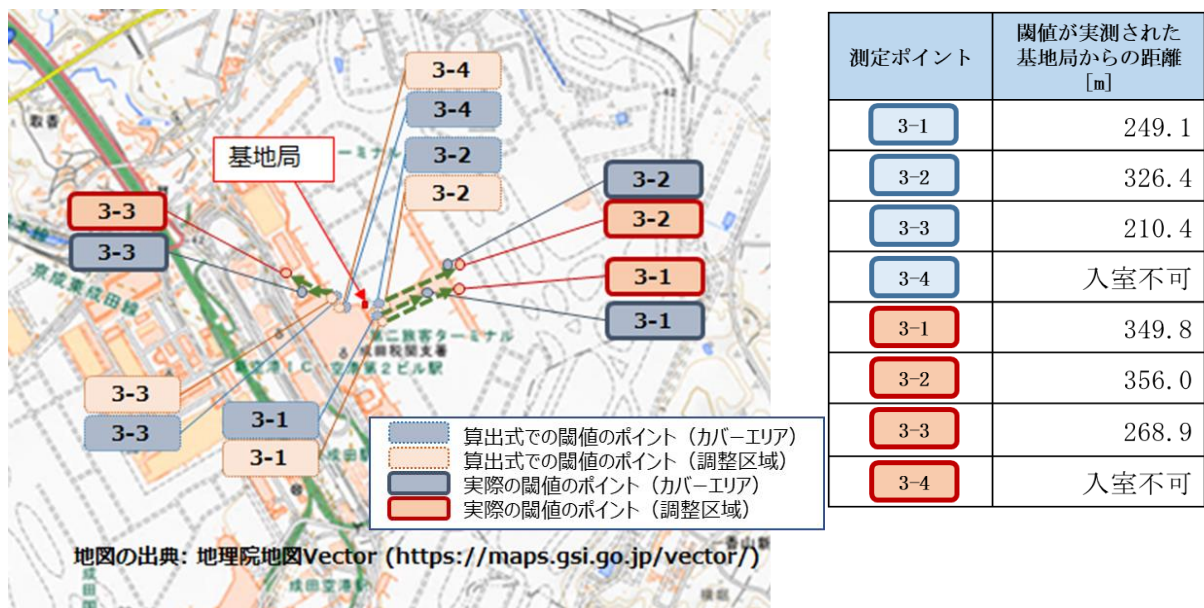


図 3-26 実測した閾値ポイントと基地局から閾値ポイントの距離 (基地局③)

閾値を示す実測ポイントを探して測定するにあたり、前述の空港特有の電波伝搬の特性を組み合わせた特徴を示す、以下のケースに分類できると考察しました。

- 整備された道路などを伝搬し、建物や障害物がない環境で自由空間損失の減衰量に基づく伝搬 (例: カバーエリア 2-1、調整区域 2-1)
- 整備された道路などに加え、建物などによりマルチパスが発生し、結果的に自由空間損失による減衰量よりも減衰が少なく高いレベルで受信する (閾値を示すポイントがより遠方となる) 環境 (例: カバーエリア 1-1、調整区域 1-1)
- 自由空間損失の環境で伝搬した先に、建物による遮蔽や半屋外の減衰が発生し急速に減衰が増加したと思われる環境 (例: カバーエリア 2-2、2-4、3-1、3-2、3-3、調整区域 2-2、2-4、3-1、3-2、3-3)
- 自由空間損失の環境で伝搬した先に、空港敷地外で一般の土地建物が存在し、建物による遮蔽や半屋外の減衰が増加したと思われる環境 (例: カバーエリア 1-3、1-4、2-3、調整区域 1-3、1-4、2-3)

#### (エ) 受信レベルと伝搬品質 (C/N+I) に着目した反射波の影響の考察

本実証においては、基地局からの各ポイントにおける受信レベルの測定に加え、伝搬品質 (C/N+I、エリアテスタでは SS-SINR) の測定も行っています。エリアテスタでは、SS ブロックの受信レベルと同じ帯域内の干渉波の電力を、受信レベル値から計算して求めているものです。この測定方法では同じ帯域の干渉波に加えて雑音成分も含まれているため、SS-SINR として表記しています。各測定ポイントにおける SS-SINR の実測値を示します。

表 3-12 SS-SINR の実測値

測定ポイント	距離 [m]	実測 SS-RSRP [dBm]	実測 SS-SINR [dB]	伝送環境の分類
カバーエリア 1-1	100.5	-66.6	19.2	LOS
カバーエリア 1-2	35.9	-80.4	17.4	LOS
カバーエリア 1-3	106.6	-72.2	19.2	LOS
カバーエリア 1-4	223.1	-87.4	17.6	NLOS、半屋外
カバーエリア 2-1	183.9	-85.5	9.7	LOS
カバーエリア 2-2	148.1	-88.3	11.7	NLOS、半屋外
カバーエリア 2-3	108.0	-84.6	-4.4	LOS
カバーエリア 2-4	45.2	-108	8.9	NLOS、建物遮蔽
カバーエリア 3-1	76.4	-85.0	21.9	NLOS、建物遮蔽
カバーエリア 3-2	74.4	-85.8	14.9	LOS
カバーエリア 3-3	85.0	-64.1	21.2	LOS
カバーエリア 3-4	87.1	-80.9	6.5	LOS
調整区域 1-1	156.2	-82.2	1.2	LOS
調整区域 1-2	39.6	-90.1	20.1	NLOS、建物遮蔽
調整区域 1-3	311.7	-98.3	15.3	NLOS、半屋外
調整区域 1-4	270.8	-102.2	11.3	NLOS、半屋外
調整区域 2-1	294.8	-81.1	2.7	LOS
調整区域 2-2	149.5	-108.2	-1.3	NLOS、建物遮蔽
調整区域 2-3	210.4	-77.2	-3.2	LOS
調整区域 2-4	50.8	-102.7	12.3	NLOS、建物遮蔽
調整区域 3-1	100.8	-93.1	17.0	NLOS、建物遮蔽
調整区域 3-2	82.4	-93.3	16.7	NLOS、半屋外
調整区域 3-3	105.4	-77.0	18.4	NLOS、半屋外
調整区域 3-4	101.4	-94.4	14.8	NLOS、建物遮蔽

測定結果から反射波による影響を考察するため、2点の比較サンプルを抽出します。抽出条件として次の3条件を考えます。

- ・ LOS環境であること（建物遮蔽など、その他の要因がないこと）
- ・ 同じ基地局のエリア内の測定ポイントであること
- ・ 基地局からの距離やその他伝送環境が類似であること

上記の条件から、カバーエリア 1-1 とカバーエリア 1-3 を抽出することとします。この2つの測定点の類似点は、同じ基地局 1 の電波を受信していること、見通し内伝搬（LOS環境）であること、伝搬距離が近いこと（100.5m と 106.6m）となります。一方、相違点としては途中にボーディングブリッジの下を通過するか否か、基地局のアンテナの測定点方

向利得の（チルト角の有無、AZ 角の指向性減衰量など）があります。



図 3-27 比較検討に使う 2つの測定ポイントの位置関係

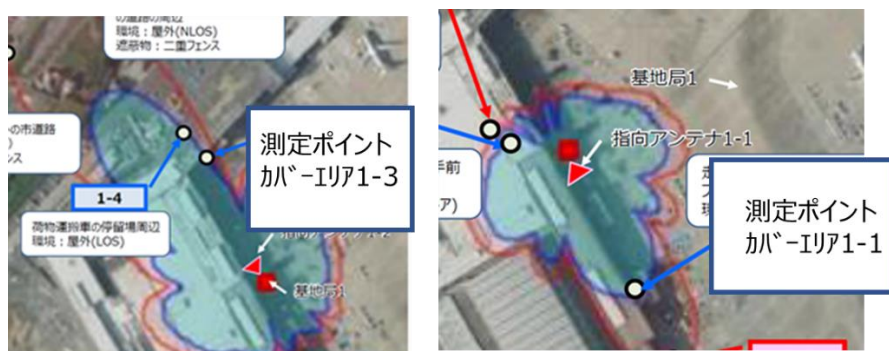


図 3-28 測定ポイントに対するアンテナ特性

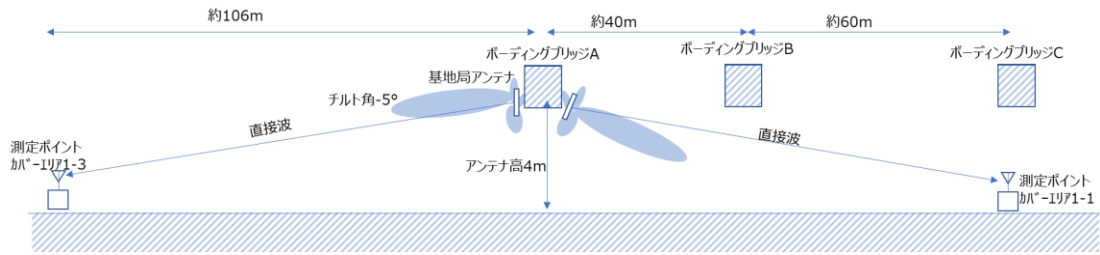


図 3-29 測定ポイントの立面図（建物との位置関係）

図 3-30 比較検討に用いた測定ポイント

	測定ポイント カバーエリア 1-1	測定ポイント カバーエリア 1-3
通信相手となる基地局	基地局 1（アンテナ 1）	基地局 1（アンテナ 2）
基地局との 3D 距離[m]	100.5	106.6
基地局の測定点方向へのアンテナ利得[dBi]	6.9	12.0
電波伝搬環境	LOS	LOS
算出式での伝搬損失[dB]	111.8	112.8
算出式での伝搬損失量から求めた計算上の受信電力 [dBm]（100MHz 帯域）	-84.2（100MHz 帯域）	-80.1（100MHz 帯域）
実測受信レベル [dBm]（RSRP 値）と（100MHz 帯域）	-66.6（RSRP 値） -31.4（100MHz 帯域）	-72.2（RSRP 値） -37.0（100MHz 帯域）
RSRP 測定時の標準偏差	2.18	4.98
実測した SS-SINR [dB]	19.2	19.2
実測値より算出した N+I 値（熱雑音+干渉雑音） [dB]	-50.6	-56.2
電波伝搬環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>見通し内伝搬（LOS）</li> <li>ボーディングブリッジの下を通過</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>見通し内伝搬（LOS）</li> <li>ボーディングブリッジはなし、貨物等あり</li> </ul>

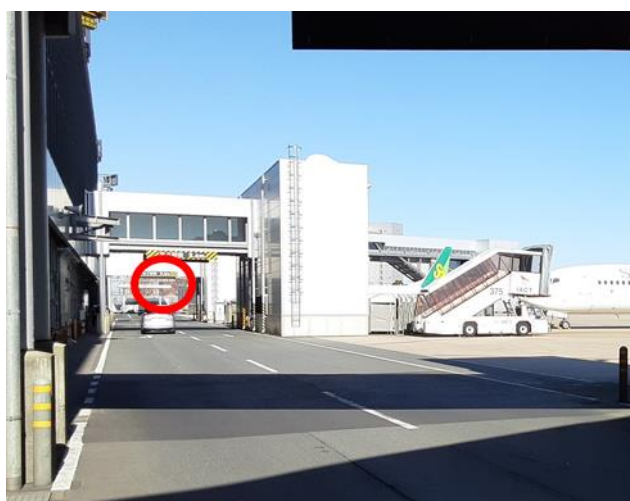


図 3-31 測定ポイント「カバーエリア 1-1」からみた基地局方向



図 3-32 測定ポイント「カバーエリア 1-3」からみた基地局方向

2つの測定ポイントにおける受信 RSRP はそれぞれ、 $-66.6\text{dBm}$  (カバーエリア 1-1)、 $-72.2\text{dBm}$  (カバーエリア 1-3) となっており、カバーエリア 1-1 の方が  $5.6\text{dB}$  高い値となっています。基地局の測定ポイント方向の送信 e. i. r. p. や、算出式の伝搬損失から算出した受信電力では、逆にカバーエリア 1-1 はカバーエリア 1-2 と比較して  $4.1\text{dB}$  低くなると計算されます。

一方、干渉雑音と熱雑音の和である C/N+I (測定項目では SS-SINR) に関しては、両方の測定ポイントで同一の値  $19.2\text{dB}$  となります。両測定ポイントにおける受信レベルの差が  $5.6\text{dB}$  あるのに対して、C/N+I の値が同じ値となります。実測値より算出した RSRP 値と SINR 値から計算した N+I 成分 (熱雑音+干渉雑音) では、カバーエリア 1-1 で  $-50.6\text{dBm}$ 、カバーエリア 1-3 では  $-56.2\text{dBm}$  となり、カバーエリア 1-1 の方が、干渉雑音が  $5.6\text{dB}$  ほど大きいと考えられます。

受信レベル (RSRP) の増加と干渉雑音の増加が発生していることからカバーエリア 1-1 において、反射波によるマルチパスがより多く発生し、同位相、逆位相等が混在していることが主な要因であると想定します。比較検討した2つの測定点の環境の違いがボーディ

ングブリッジの存在であることから大きな影響を与えているとも考えられます。

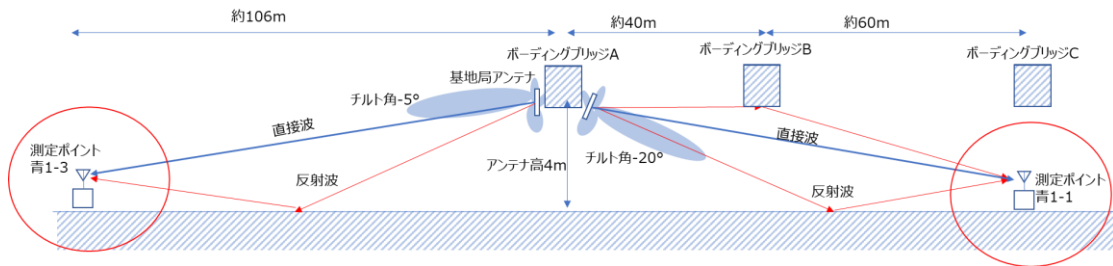


図 3-33 受信レベルの変動や干渉雑音を誘引する反射波の存在

## ② ローカル5Gを用いたソリューションの所要性能と実測値の比較

伝送性能評価において、ローカル5Gを用いたソリューションの所要性能を達成しなかった測定ポイントはありませんでした。また、結果として、レイトレース法でシミュレーションした受信電力の分布に近い環境となっていることが分かりました。レイトレース法でシミュレーションした結果は、図 3-11 に示す通りとなります。

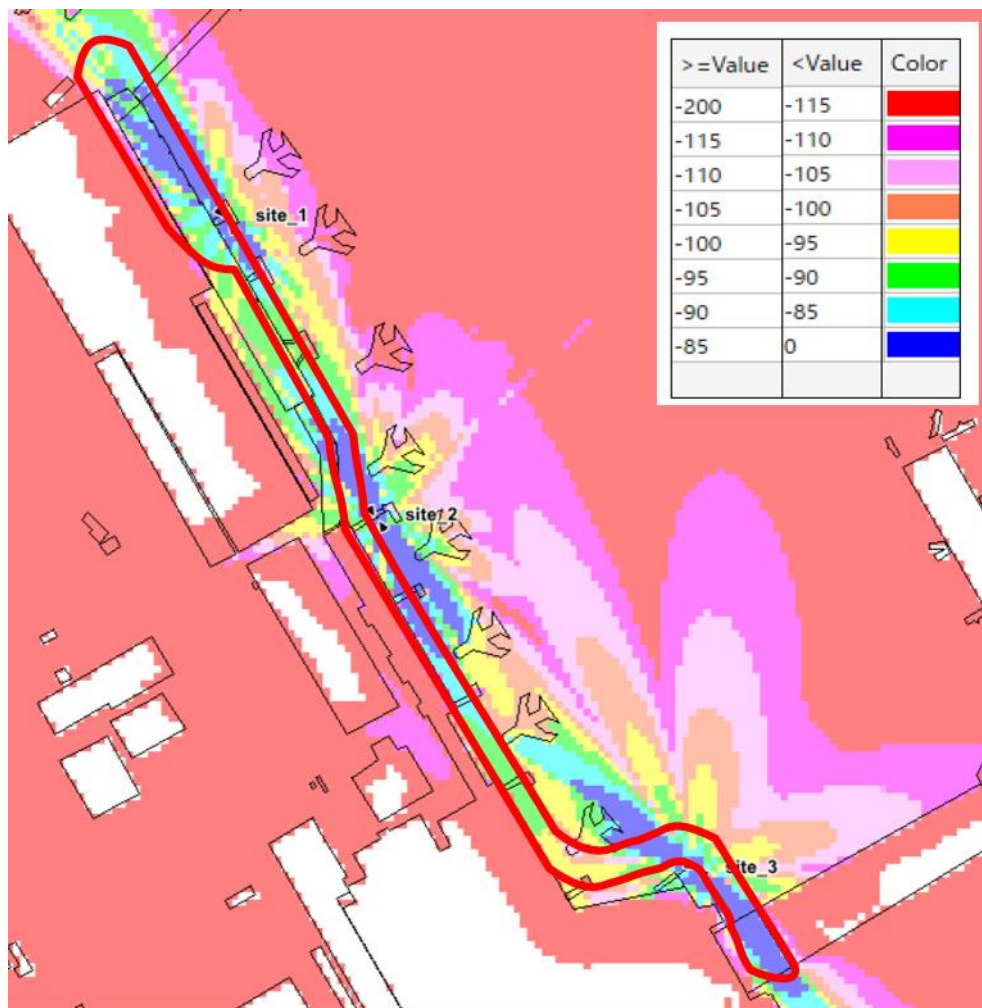


図 3-11 レイトレース法を用いたシミュレーション結果(赤枠：走行エリア)



### ③ 更なる技術的課題等

本実証の結果、自動運転バスの走行ルートについては、全ての区間をローカル5Gでエリアカバーし、また、エリア内では所要性能を達成していることが分かりました。一方で、その中の一部区間では、所要性能を達成してはいるものの、他区間と比べて受信レベルが低下しているポイントもありました。これは、当該ポイントと基地局との間に、ボーディングブリッジや駐機航空機を含む固定・移動遮蔽物が存在し、電波が遮蔽されたことによるものと考えられます。対策としては、そのようなポイントと基地局との間に反射板を適切に配置し、当該ポイントに対して反射板からの反射波を照射することで、受信レベルの低下を防止することが挙げられます。反射板の効果としては、前述のような受信レベルの低下防止のみならず、柔軟なエリア形成にも資すると思われれます。例えば、本実証環境では、自動運転バス走行ルートの道幅が約10～15mと狭いものであったため、反射板を走行ルート近傍に適切に配置して、それらの反射波を活用することでエリアの範囲を調整できると予想されます。その場合、アンテナから発射される電波と反射板による反射波の両方を利用できるようになって、アンテナの個数を低減でき、コスト抑制を実現できる可能性があります。

さらに、本実証の結果、想定よりも電波が飛びすぎていたポイントがあることも分かりました。これは、空港特有の半屋外環境・整地されたアスファルトなどによるマルチパスが発生し、受信レベルが大きくなったことによるものと推測します。対策としては、環境に合った指向特性や利得を考慮したアンテナの選定、送信出力調整、アンテナの指向方向やチルト角の変更に加え、前述の反射板等を活用するなどにより、サービスエリア外への電波漏洩を抑制できる可能性があります。

### 3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化

#### 3.3.2.1 実証の目的・目標

##### (1) 背景となる技術的課題と実証目的

本実証では、空港内の部分的走行エリアというフィールドにおいて、ローカル5G環境を準備し、ローカル5Gを用いた自動運転を適用させることを想定し、その電波伝搬モデルの精緻化を行うことを目的とします。第4章で述べるような空港内における自動運転の実現にあたっては、適切なエリアを構築する置局設計、走行エリア上をくまなくカバーする広域の無線環境の構築が必要となります。特定範囲のカバーエリア構築において、遮蔽物となる建物、航空機駐機や移動遮蔽物となる航空機、運搬車、移動バス、及びボーディングブリッジ下の半屋外の閉空間スペースが数多く存在します。そのため、既存の電波伝搬モデルにおける「郊外地」の特性を持ちながらも、空港特有の利用環境条件となっており、既存モデルからの正確なエリア算出が困難です。そのため、本項において、郊外地を前提としながらも、空港特有の環境をも考慮した精緻化に関する知見を得るものとします。



図 3-34 ボーディングブリッジの外観



図 3-35 ボーディングブリッジ下の閉空間スペース①

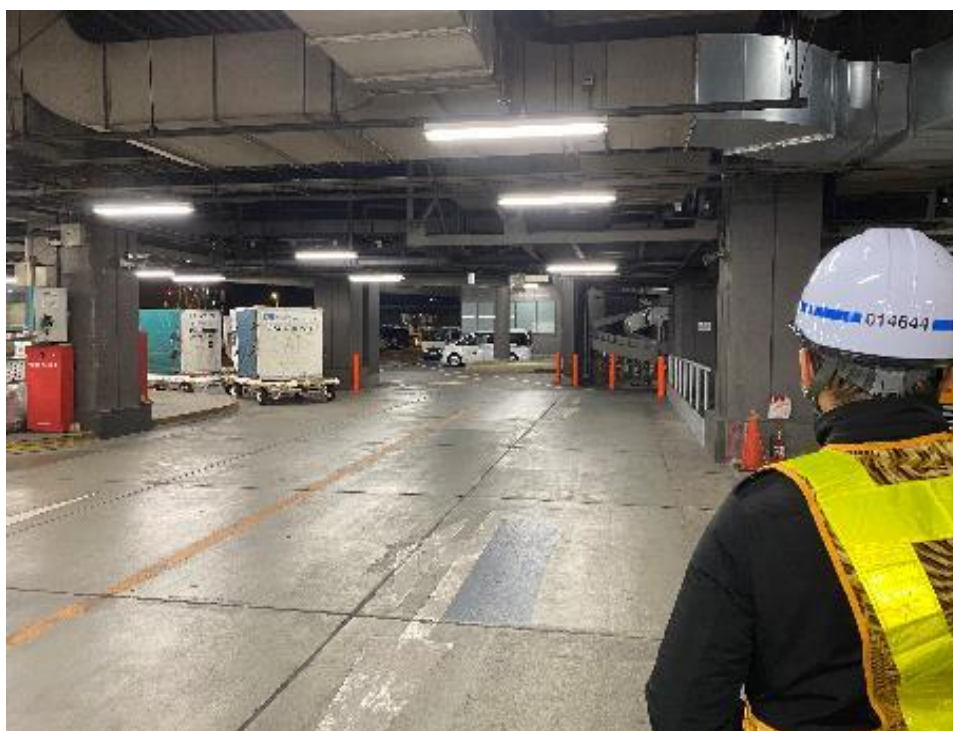


図 3-36 ボーディングブリッジ下の閉空間スペース②

なお、提出済の提案書では、本実証を行う環境にて、「郊外地」だけでなく、「開放地」に近い環境(空港全体を俯瞰し建物から離れた誘導路や滑走路)も存在すると記載していま

した。しかしながら、現地調査および空港会社との調整の結果、基地局の設置位置を当初の位置から変更することとなり、その結果として、カバーエリアに誘導路や滑走路が含まれなくなり、エプロンのみを含むこととなりました。そのため、本実証を行う環境は、「郊外地」と「開放地」の両特性を併せ持つのではなく、「郊外地」のみに準ずる環境であるとの前提に変更しました。



図 3-37 (変更前) 基地局設置位置およびカバーエリアイメージ図

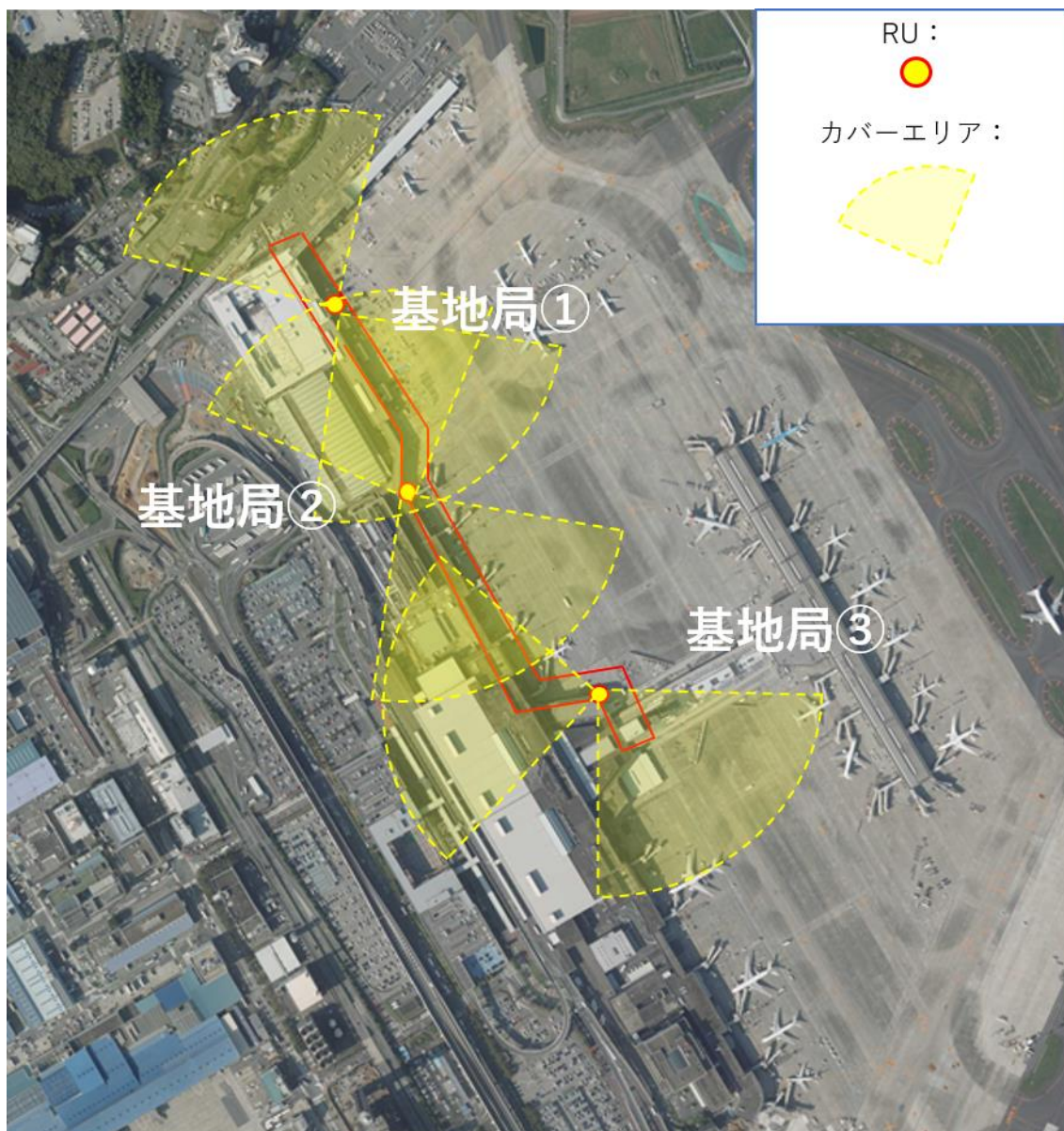


図 3-38 (変更後) 基地局設置位置およびカバーエリアイメージ図

## (2) 実証目標

上記(1)項にて記載しましたが、本実証では空港特有の利用環境条件を有するエリアフィールドにおいて、その電波伝搬モデルの精緻化を行い、技術基準の改訂へ向けた提言を行うことを目的とします。具体的には、エリア算出法の伝搬損失式のうち、4.7GHz帯におけるS（精緻化の方向性：計算対象地域の環境に応じて、郊外地に対して考慮する補正値の詳細化）のパラメータの精緻化を実施します。本パラメータの精緻化を実施することで、同ユースケースにおける効率的なエリア設計の実現に寄与できると考えます。

本実証では、「3.2 実証環境」で示した通り、走行レーン上のボーディングブリッジ構造物へ基地局を設置し、複数基地局による走行レーンへ電波発射しています。走行レーンは空港側の移動車（バス、カート等）が往来している環境条件となり、移動車による電波伝搬損

失の影響を低減するため、基地局の設置高さを確保することが挙げられます。

### 3.3.2.2 実証仮説

本実証では、4.7GHz 帯における空港内構造物(妨害物)や、周辺の設備の高さや面積を示すパラメータであるSについて精緻化を行いました。本来、Sについては、屋外に設置した基地局より発射した電波が地物(建物、閉空間スペース、周辺の高さのある設備等)の影響を受け、どの程度減衰した状態で到達しているかを示すパラメータであるため、本実証環境にてボーディングブリッジ柱へ各基地局を設置し、走行エリア周辺で測定を行うことを考慮すると、建物屋外と屋内や閉空間スペースの屋外と半屋外での測定点データの差分を求めた上で、郊外地「S値」と導き出される「追加補正值」を考慮した結果になることも視野に入れ、考察を行いました。

### 3.3.2.3 評価・検証項目

本実証での評価・検証項目は、以下の表 3-9 のとおりです。

表 3-13 評価・検証項目

項番	大項目	小項目
1	仮説に基づいたエリア算出法(郊外地モデル)と実測値の比較	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 仮説に基づき作成した「郊外地モデル」のカバーエリア及び調整対象区域による各測定ポイントでの受信電力</li> <li>・ 上記で作成したエリア算出法によるカバーエリア及び調整対象区域の閾値と実測値の比較</li> <li>・ (上記比較にて値が異なっている場合、)閾値が実測される基地局相当の無線局からの距離の確認</li> <li>・ 閾値と実測値の差分の要因分析</li> <li>・ 実測に基づくパラメータの精緻化</li> </ul>

なお、本実証では、エリア算出法で作成したカバーエリア及び調整対象区域のエリアのみを対象とし実施しました。

### 3.3.2.4 評価・検証方法

本実証にて想定している試験の手順は、以下の表 3-14 のとおりです。

表 3-14 試験手順

工程	実施内容	対応図表
1	仮説に基づきパラメータの値を修正したエリア算出法を基にしたエリアシミュレーションにより、カバーエリア及び調整対象区域を算出・図示します。	図 3-39
2	<p>カバーエリア及び調整対象区域内において、基地局からの距離が異なる24地点での測定ポイントを定義します。</p> <p>なお、アンテナ直進ビーム方向に立入禁止区域内での測定はできないため、直進ビーム方向以外でのカバーエリア及び調整対象区域内の閾値ポイントを測定ポイントの定義とします。</p> <p>(測定ポイント：カバーエリア1-1～カバーエリア3-4、調整対象1-1～調整対象3-4)</p>	表 3-18
3	<p>2項で定義した測定ポイントにて測定器を用いて受信電力(SS-RSRP)を測定しました。</p> <p>「図 3-40」のように、測定点ごとに10λ (60cm) の範囲内にて定在波の影響を避けるために台車の上に測定器を設置し、1分毎に8.5cm程度移動し7ポイントでの測定を実施しました。</p> <p>1 測定地点での測定時間を 420 秒以上とし、各ポイントを 60 秒ずつ 7 ポイントにて測定を行い、合計 420 秒間以上にて1000 個のSS-RSRP のサンプルを 1 つの測定地点で測定しました。測定点あたり、合計1000サンプルの測定結果に対し、中央値、σ、上位10%値、下位10%値を算出しました。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・測定周期：PCI=1、周期 400ms</li> <li>・サンプル数：1000</li> <li>・測定時間：420秒以上</li> <li>・測定器アンテナ：オムニアンテナ</li> </ul> <p>※測定器の詳細については、2.2.2 項に記載しています。</p> <p>閾値と実測値が異なっている場合、GPSシステムを用いて閾値が実測される基地局相当の無線局からの距離を確認しました。</p> <p>※閾値の実測については3.3.1 項での実測値を引用します。</p> <p>なお、測定にあたっては、エリア算出法上の数値や、ベンダからの品質評価試験結果と比較し、測定方法の誤りがないよう確認を行いました。また測定器の設定・手順等のミスを防止するため、測定前に見通しの試験測定点1点での理論値と実測値を比較した事前確認測定を実施し、本実測を実施しました。</p>	表 3-19

工程 3 において定義した測定ポイントは、下図のように、各基地局のカバーエリア及び調整対象区域ごとに 4 ポイントずつ、合計で 24 ポイントを想定しています。



図 3-39 パラメータ修正前の値を用いたエリア算出法によるカバーエリア及び調整対象区域と測定ポイント



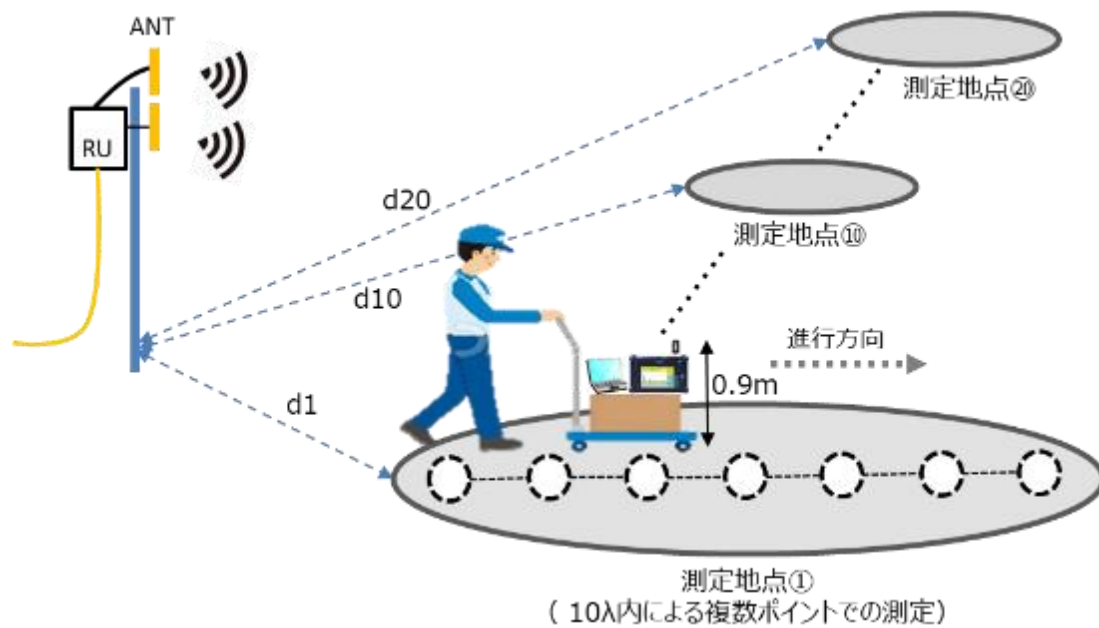


図 3-40 エリアテストでの測定イメージ

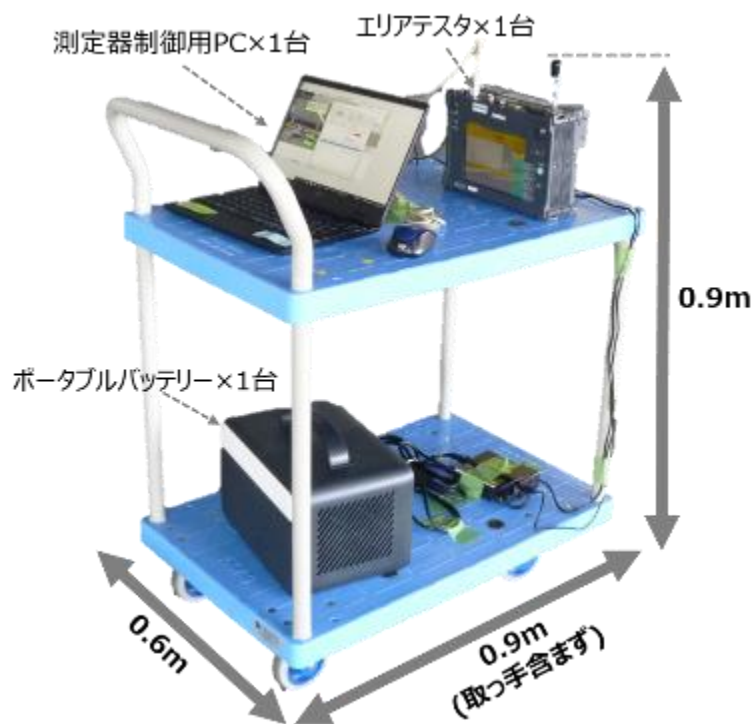


図 3-41 実測に用いた測定補助用器具

### 3.3.2.5 実証結果及び考察

図 3-42 に示すシミュレーション結果は、審査基準のエリア算出法の式より  $S=12.3$  (郊外地モデル) にて追加補正值無しの条件で算出しております。そのため各閾値においてシミュレーション結果と実測した結果とで乖離が発生しており、精緻化後の追加補正值を用いたカバーエリア及び調整対象区域を作画し、実測に近い結果が得られることを示すことで、本精緻化の効果を示します。

#### (1) 測定条件及び測定結果の整理

- ① パラメータ修正前のエリア算出法によって算出されたカバーエリア及び調整対象区域を図示しました。(カバーエリア：青、調整対象区域：赤)



図 3-42 パラメータ修正前のエリア算出法によるカバーエリア及び調整対象区域図

- ② 実証フィールドの測定点に関する以下環境情報を整理し示します。  
基地局パラメータ、測定作業の状況、周辺環境(遮蔽物・閉空間スペース等)がわかる写真等、測定点の基地局からの距離とそれぞれのアンテナ高、見通し内/見通し外等の情報を以下の表 3-15 ～表 3-17 に示します。

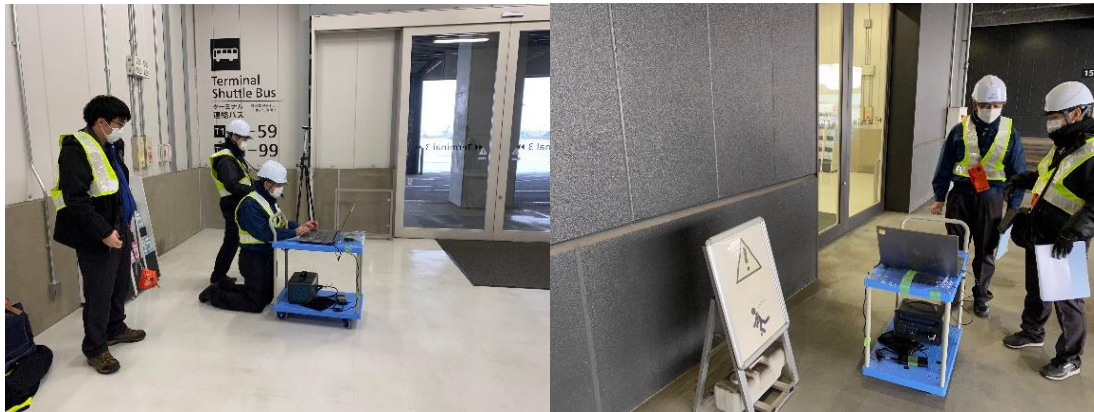


図 3-43 扉の中(屋内)と外(半屋外)の測定ポイント

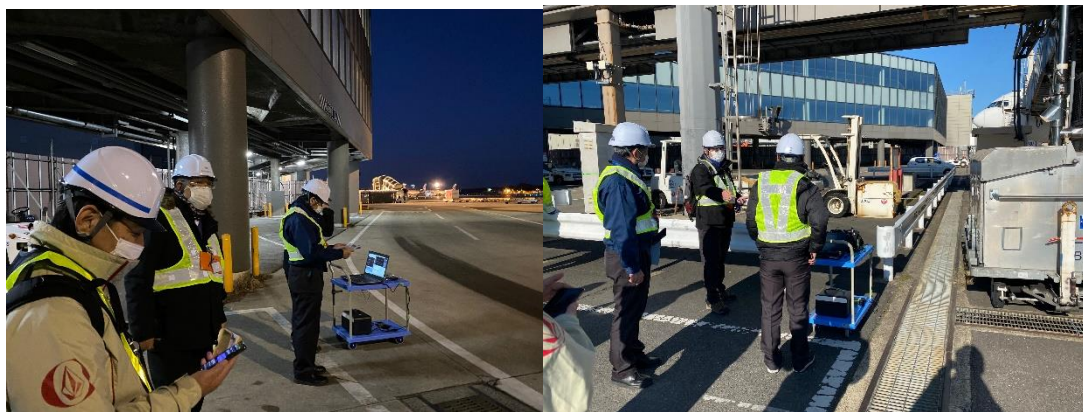


図 3-44 ボーディングブリッジ付近の測定ポイント

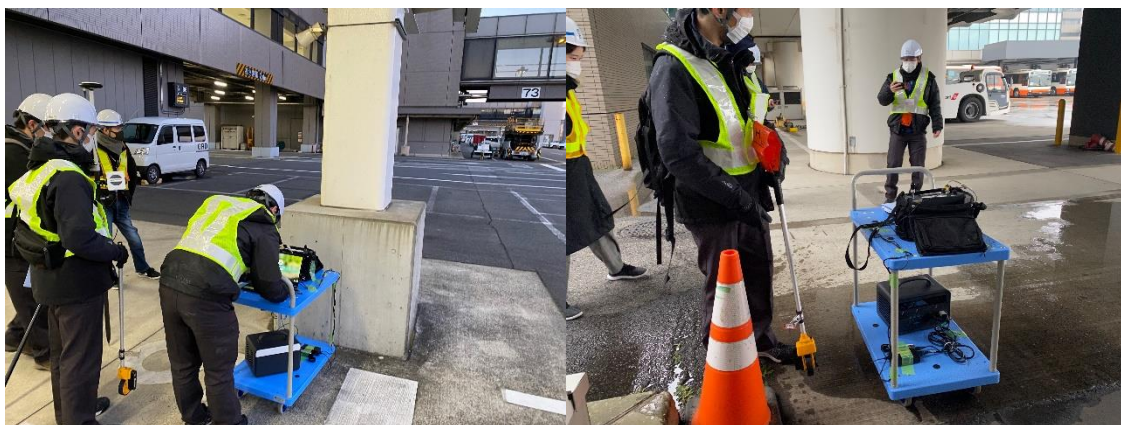


図 3-45 ボーディングブリッジ下の閉空間スペースの測定ポイント

表 3-15 基地局(Site) 1 測定環境

項目	数値
基地局アンテナ地点標高[m]	39.0
基地局アンテナ地上高[m]	4.00
送信電力 Pt[dBm]	37.00
送信アンテナ利得[dBi]	17.00
基地局給電線・分配器損失 Lf[dB]	5.30
受信アンテナ利得 Gr[dBi]	0.40
端末アンテナ地上高[m]	0.90

表 3-16 基地局(Site) 2 測定環境

項目	数値
基地局アンテナ地点標高[m]	38.70
基地局アンテナ地上高[m]	4.00
送信電力 Pt[dBm]	37.00
送信アンテナ利得[dBi]	17.00
基地局給電線・分配器損失 Lf[dB]	5.30
受信アンテナ利得 Gr[dBi]	0.40
端末アンテナ地上高[m]	0.90

表 3-17 基地局(Site) 3 測定環境

項目	数値
基地局アンテナ地点標高[m]	38.70
基地局アンテナ地上高[m]	5.50
送信電力 Pt[dBm]	37.00
送信アンテナ利得[dBi]	17.00
基地局給電線・分配器損失 Lf[dB]	6.40
受信アンテナ利得 Gr[dBi]	0.40
端末アンテナ地上高[m]	0.90

表 3-18 各測定ポイントでの測定点情報

測定ポイント	基地局との3D 距離 [m]	測定点標高 [m]	LOS/NLOS
カバーエリア 1-1	100.6	39.00	LOS
カバーエリア 1-2	35.9	39.10	LOS
カバーエリア 1-3	106.6	39.10	LOS
カバーエリア 1-4	223.1	39.00	NLOS、半屋外
カバーエリア 2-1	183.9	38.90	LOS
カバーエリア 2-2	148.1	38.90	NLOS、半屋外
カバーエリア 2-3	108.0	39.00	LOS
カバーエリア 2-4	45.2	38.80	NLOS、建物遮蔽
カバーエリア 3-1	76.4	38.60	NLOS、建物遮蔽
カバーエリア 3-2	74.4	38.60	LOS
カバーエリア 3-3	85.0	38.60	LOS
カバーエリア 3-4	87.1	38.60	LOS
調整区域 1-1	156.2	39.10	LOS
調整区域 1-2	39.6	39.10	NLOS、建物遮蔽
調整区域 1-3	311.7	41.10	NLOS、半屋外
調整区域 1-4	270.8	41.00	NLOS、半屋外
調整区域 2-1	294.8	38.80	LOS
調整区域 2-2	149.5	38.80	NLOS、建物遮蔽
調整区域 2-3	210.4	39.00	LOS
調整区域 2-4	50.8	38.90	NLOS、建物遮蔽
調整区域 3-1	100.8	38.60	NLOS、建物遮蔽
調整区域 3-2	82.4	38.60	NLOS、半屋外
調整区域 3-3	105.4	38.60	NLOS、半屋外
調整区域 3-4	101.4	38.60	NLOS、建物遮蔽

- ③ エリア算出法(郊外地モデル)でのカバーエリア及び調整対象区域の閾値と各測定ポイントでの実測値の比較を行います。なお、走行エリア内の測定ポイントについては、対象外といたします。

表 3-19 エリア算出法での閾値と各測定ポイントでの実測統計処理値の比較

測定ポイント	エリア算出法での閾値[dBm]	実測値中央値[dBm]	実測値 $\sigma$	実測値上位10% [dBm]	実測値下位10% [dBm]	差分 [dB]
カバーエリア 1-1	-116.0	-66.60	2.18	-64.50	-70.40	-49.4
カバーエリア 1-2	-93.5	-80.40	3.57	-75.00	-85.60	-13.1
カバーエリア 1-3	-111.9	-72.20	4.98	-67.40	-82.50	-39.7
カバーエリア 1-4	-123.1	-87.40	2.92	-83.00	-91.40	-35.7
カバーエリア 2-1	-115.6	-85.50	3.15	-81.60	-91.70	-30.1
カバーエリア 2-2	-113.2	-88.30	2.82	-84.70	-94.00	-24.9
カバーエリア 2-3	-113.0	-84.60	2.59	-81.50	-88.30	-28.4
カバーエリア 2-4	-100.2	-108.00	1.83	-105.40	-111.40	7.8
カバーエリア 3-1	-110.8	-85.00	3.85	-80.00	-90.20	-25.8
カバーエリア 3-2	-114.6	-85.80	3.53	-81.80	-91.60	-28.8
カバーエリア 3-3	-124.1	-64.10	4.33	-59.90	-74.00	-60.2
カバーエリア 3-4	-100.0	-80.90	4.57	-73.30	-89.70	-19.1
調整区域 1-1	-122.7	-82.20	4.53	-76.40	-87.60	-40.5
調整区域 1-2	-87.8	-90.10	4.05	-84.90	-96.50	2.3
調整区域 1-3	-125.5	-98.30	3.81	-91.30	-103.80	-27.2
調整区域 1-4	-122.5	-102.20	2.82	-96.90	-106.40	-20.3
調整区域 2-1	-122.8	-81.10	2.91	-78.10	-87.50	-41.7
調整区域 2-2	-128.4	-108.20	3.34	-102.60	-113.50	-20.2
調整区域 2-3	-122.8	-77.20	2.89	-75.20	-84.70	-45.6
調整区域 2-4	-104.6	-102.70	2.11	-99.60	-106.40	-1.9
調整区域 3-1	-111.2	-93.10	3.02	-88.80	-97.10	-18.1
調整区域 3-2	-116.9	-93.30	3.14	-88.60	-97.60	-23.6
調整区域 3-3	-130.3	-77.00	3.29	-73.80	-84.40	-53.3
調整区域 3-4	-105.4	-94.40	3.45	-89.00	-99.80	-11.0

- ④ ③での比較結果より値が異なっているポイントにおける、閾値が実測された基地局相当の無線局からの距離については、閾値が測定できるポイントを探して測定し、測定結果を3.3.1.4の図3-24～図3-26に示しました。

## (2) 考察

エリア算出法での閾値と各測定ポイントでの実測値に乖離が生じた理由について、下記観点において考察を行いました。

### ① 空港特有な伝搬環境に関する整理

空港特有な伝搬環境について次のような整理を行いました。

- 地面は平面に整地されて、アスファルト等で整え凹凸を抑えている。高低差がない。
- 周囲の建物は、鉄筋コンクリート等による頑強な構造が中心。一部、荷物や乗客の出入りのための半建物状な部分が多い。
- 空港内の飛行機、作業用車両、バス等が活動するエリアと、外側の空港外の道路等との間に広い緩衝スペースがある。

### ② 審査基準のエリア算出式に基づくシミュレーションと実測データの差分分析

電波伝搬特性の測定結果(3.3.1)に基づく伝搬特性の特徴を勘案し、次のような要因を考えました。

#### ◇ 見通し内伝搬について

基地局が目視できるような環境であり、加えて、滑走路から続くエプロンエリア中心であり、平滑にアスファルトで整備された空間が続きます。このため、電波は直接波を中心に、地上からの反射波や一部周囲の建物や乗り物、構造物等での反射の合成波となります。見通し内の直接波が中心であり、伝搬損失も自由空間損失の値に近くなったと想定します。

#### 【100m以内の近傍環境 (LOS 環境)】

100m 近傍までは、実証環境の関係から、周囲に鉄柱やボーディング用の移動階段などが多数あり、これらによる遮蔽や反射・散乱でデータが影響したと想定します。また、測定ポイントによっては、基地局のサイドローブを使った測定となり、受信レベルのバラツキが大きくなったと考えられます。

#### 【150m以遠の環境 (LOS 環境)】

150m 以遠の測定ポイントでは、直接波と反射波との経路差も小さくなると想定され、伝搬損失(パスロス)の計算値も安定して収束していると考えられます。

◇ 見通し外伝搬について

【100m以下の近傍域（NLOS環境）】

100mまでの近傍域（NLOS環境「半屋外」が中心）では、比較的近距离で、近辺の柱やアスファルトの反射波が想定され、直接波と反射波の経路差が大きいと想定されます。測定誤差を含め結果的に20dB程度のバラツキが出たと考えます。

【100m～150m以下の中距離域（NLOS環境）】

100m～150m程度の中距離域（NLOS環境「半屋外」、「建物遮蔽」）では建物の占有とその他の空間の割合を考慮して、中程度（2～10%）以下の障害物が存在するケースと考えます。半屋外、建物遮蔽が伝搬特性を支配する割合は低く、また、反射波についても、経路差の影響も近傍域よりは少なくなると想定し、「郊外地」よりも20dB程度減衰量が削減し、自由空間損失の特性に近似したと考えます。

【200m以遠の長距離域（NLOS環境）】

200m程度以遠の長距離域（NLOS「建物遮蔽」が中心）においては、「空港特有の整地されたアスファルト面の空間」と、「空港と外部の緩衝エリアや様々な建物のある空間」それぞれの空間の割合が、全体の伝搬特性を左右すると考えます。空港特有の伝搬特性の区間（滑走路やエプロンエリアなど平坦な場所）が多い場合は、自由空間損失の特性に近似する一方、緩衝エリアや一般市街地等の割合が多くなると、本実証のローカル5Gでは、アンテナが4m程度と低いため、建物等の遮蔽を受けやすくなり、「郊外地」などのエリア算出式における当該地区の伝搬特性により近づくと考えます。

また、本実証環境における特筆すべき特徴としては、NLOS環境でも高い受信レベルが得られていることが挙げられます。3.3.1.4（3）では、固定遮蔽物としてのボーディングブリッジによる反射の影響について考察し、当該反射物により受信電力が強くなると予想しました。実際には、それ以外の固定・移動遮蔽物として、駐機航空機や駐車車両、貨物等が存在するだけでなく、トーイングトラクタや大型トラック、大型バスがランダムに走行し、それらが移動遮蔽物となっている状況です。また、ボーディングブリッジ下の半屋外環境以外にも、荷物用ベルトコンベア、バス停留所付近等に半屋外環境が100m～150mにわたって続いている区間も存在します。さらに、自動運転バスの走行ルート付近や駐機スペースには、整地されたアスファルトの地面が広がっています。以上の、遮蔽物、半屋外空間、整地された地面によるマルチパスの影響により、NLOSでも強い反射がある環境になっていると考えられます。

### ③ 精緻化に関する提案

審査基準のエリア算出式に基づくシミュレーションと実測データの差分分析を踏まえ、算出式で提示される遮蔽等による伝搬損失S値をいくつか想定したうえで、実測値との差を少なくするための補正值を考えます。

審査基準のエリア算出式は、距離で三つの分類を行い適応する式を分けています。



表 3-20 審査基準のエリア算出式

審査基準のエリア算出式
$Pr=Pt+Gt-Lf+Gr-L-8$

<参考>エリア算出式の各項について

Pr [dBm]	受信レベル 受信電力
Pt [dBm]	送信電力 基地局の空中線電力
Gt [dBi]	送信アンテナ利得
Lf [dB]	基地局の給電線損失
Gr [dBi]	受信アンテナ利得
L [dB]	伝搬損失(注)

(注) 伝搬損失 L は自由空間伝搬損失式及び拡張秦式を基礎として算出することとし、送受信間距離  $d_{xy}$  によって以下の式で算出します。なお、以下の①又は②で得られる伝搬損失 L が③より小さな値の場合、L は③の値に変更します。

伝搬損失 L [ dB ] に関して伝搬距離により計算方法を分けています。

- ③ 40m まで自由空間損失
- ① 40m から 100m までの③と④をつなぐ補間式
- ② 100m 以遠の拡張秦式

式③において、伝搬路の特性に応じた S 値を設定していますが、本実証では S 値を 仮に変更した場合における修正算出式と実測値との差を比較しました。ただし、その際は審査基準の算出式で定められているように、③による損失よりも①、②の伝搬損失が小さい場合には③を用いるという条件を適用します。

審査基準のエリア算出式における S 値を増加させた場合の、伝搬距離に対する伝搬損失の変化を以下に示します。

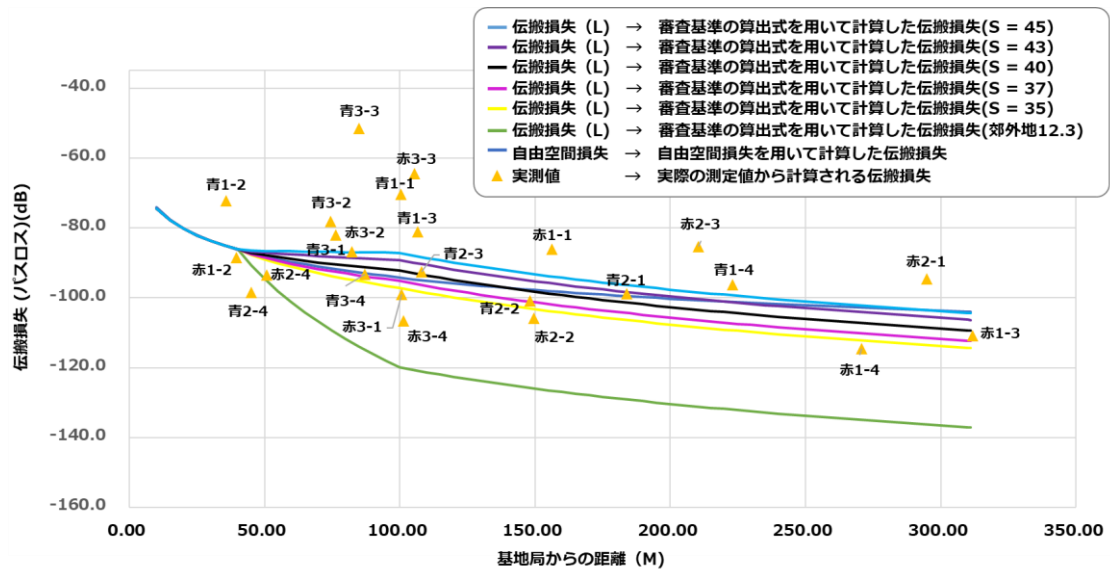


図 3-46 S 値を変化させた場合の審査基準の算出式による伝搬損失（但し自由空間損失よりも損失値が小さい場合には自由空間損失を用いる）

表 3-21 S 値を変化させた場合の二乗誤差 (全 24 測定点)

	補正值	S 値を補正した場合のエリア算出式による伝搬損失と実測値の乖離 (二乗平均平方根誤差) (dB)	備考
1	S=12.3 補正值=0	31.8	
2	S=35.0 (㊦+補正值) 補正值=22.7	15.7	
3	S=37.0 (㊦+補正值) 補正值=24.7	15.0	※距離 105m までは自由空間損失、それ以遠は拡張秦式を適用
4	S=40.0 (㊦+補正值) 補正值=27.7	14.5	※距離 130m までは自由空間損失を適用、それ以遠は拡張秦式を適用
5	S=43.0 (㊦+補正值) 補正值=30.7	14.3	※距離 220m 程度までは自由空間損失を適用。220m 以遠では拡張秦式を適用。
6	S=45.4 (㊦+補正值) 補正值=33.1	14.3	※距離 310m までは自由空間損失を適用、本実証実験で測定した最遠地まで自由空間損失を適用

以下に、S 値を補正した審査基準の算出式を用いた伝搬損失と、実測したデータから求めた伝搬損失の実測値を示します。なお、同図においては、表 3-27 評価・検証項目表 3-27 の 2 項にある実証実験Ⅱで測定した、走行エリア内 20 か所における受信レベルから算出した伝搬損失値も、参考として記載しています。また、走行エリア 20 ポイントでの受信レベルに関して、同様に S 値を変化させた場合の二乗平均平方根誤差を算出し、以下の表に示します。表 3-21 と同様な傾向を示していることが分かります。走行エリア内 20 ポイントにおける受信レベルにおいても、算出式の精緻化の補正の方向性は同様の傾向を示していると考えられます。

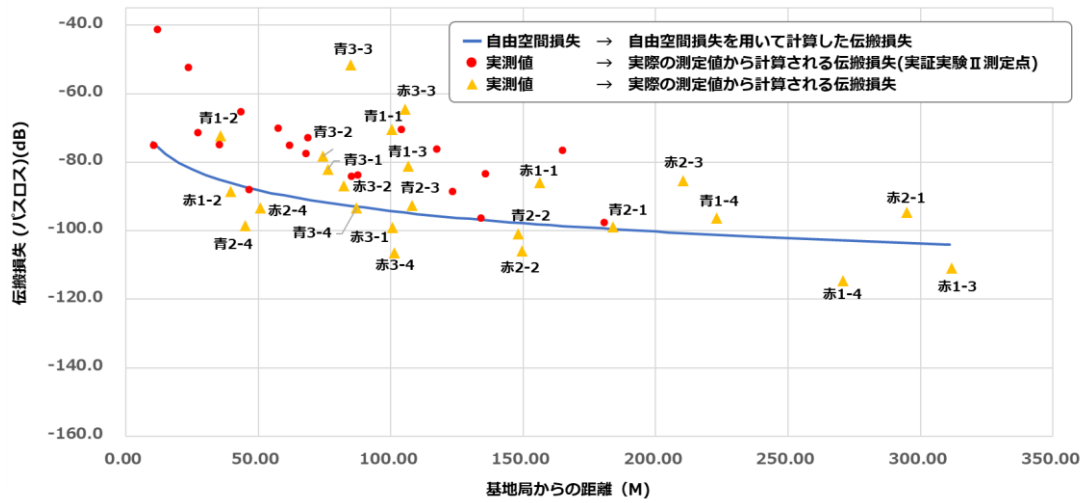


図 3-47 S 値を補正した審査基準の算出式を用いた伝搬損失と実測したデータから求めた伝搬損失の実測値

表 3-22 S 値を変化させた場合の二乗誤差（走行エリア内 20 測定点）

	補正值	S 値を補正した場合のエリア算出式による伝搬損失と実測値の乖離（二乗平均平方根誤差）[dB]	備考
1	S=12.3 補正值=0	31.4	
2	S=35.0 (㊦+補正值) 補正值=22.7	18.4	
3	S=37.0 (㊦+補正值) 補正值=24.7	17.6	※距離 105m までは自由空間損失、それ以遠は拡張秦式を適用
4	S=40.0 (㊦+補正值) 補正值=27.7	16.9	※距離 130m までは自由空間損失を適用、それ以遠は拡張秦式を適用
5	S=43.0 (㊦+補正值) 補正值=30.7	16.8	※距離 220m 程度までは自由空間損失を適用。220m 以遠では拡張秦式を適用。
6	S=45.4 (㊦+補正值) 補正值=33.1	16.8	※距離 310m までは自由空間損失を適用、本実証実験で測定した最遠地まで適用

次に、LOS 環境、NLOS 環境（半屋外）、NLOS 環境（建物遮蔽）における S 値の補正值を算出します

表 3-23 LOS 環境における S 値の補正值

	補正值	S 値を補正した場合のエリア算出式による伝搬損失と実測値の乖離 (二乗平均平方根誤差) (dB)	備考
1	S=12.3 補正值=0	38.3	
2	S=35.0 (㊦+補正值) 補正值=22.7	19.9	
3	S=37.0 (㊦+補正值) 補正值=24.7	18.8	※距離 105m までは自由空間損失、それ以遠は拡張秦式を適用
4	S=40.0 (㊦+補正值) 補正值=27.7	17.8	※距離 130m までは自由空間損失を適用、それ以遠は拡張秦式を適用
5	S=43.0 (㊦+補正值) 補正值=30.7	17.3	※距離 220m までは自由空間損失を適用。220m 以遠では拡張秦式を適用。
6	S=45.4 (㊦+補正值) 補正值=33.1	17.2	※距離 310m までは自由空間損失を適用、本実証実験で測定した最遠地まで適用

表 3-24 NLOS (半屋外) 環境における S 値の補正值

	補正值	S 値を補正した場合のエリア算出式による伝搬損失と実測値の乖離 (二乗平均平方根誤差) [dB]	備考
1	S=12.3 補正值=0	32.8	
2	S=35.0 (㊦+補正值) 補正值=22.7	13.9	
3	S=37.0 (㊦+補正值) 補正值=24.7	13.5	※距離 105m までは自由空間損失、それ以遠は拡張秦式を適用
4	S=40.0 (㊦+補正值) 補正值=27.7	13.4	※距離 130m までは自由空間損失を適用、それ以遠は拡張秦式を適用
5	S=43.0 (㊦+補正值) 補正值=30.7	13.6	※距離 220m までは自由空間損失を適用。220m 以遠では拡張秦式を適用
6	S=45.4 (㊦+補正值) 補正值=33.1	13.9	※距離 310m までは自由空間損失を適用、本実証実験で測定した最遠地まで適用

表 3-25 NLOS (建物遮蔽) 環境における S 値の補正值

	補正值	S 値を補正した場合のエリア算出式による伝搬損失と実測値の乖離 (二乗平均平方根誤差) [dB]	備考
1	S=12.3 補正值=0	15.1	
2	S=35.0 (㊟+補正值) 補正值=22.7	7.6	※距離 40m までは自由空間損失、40~100m は補間の式、100m 以上は拡張秦式を適用
3	S=37.0 (㊟+補正值) 補正值=24.7	7.8	※距離 105m までは自由空間損失、それ以上は拡張秦式を適用
4	S=40.0 (㊟+補正值) 補正值=27.7	8.3	※距離 130m までは自由空間損失を適用、それ以上は拡張秦式を適用
5	S=43.0 (㊟+補正值) 補正值=30.7	8.3	※距離 220m までは自由空間損失を適用。220m 以上は拡張秦式を適用
6	S=45.4 (㊟+補正值) 補正值=33.1	8.3	※距離 310m までは自由空間損失を適用、本実証実験で測定した最遠地まで適用

以上のような検討結果から、次の値において RMSE 最小となる (下参照) ような、次の値を S 値の補正として提案いたします。

- LOS 環境 S=45.4 (=自由空間損失)
- NLOS 環境 (半屋外) S=40
- NLOS 環境 (建物遮蔽) S=35

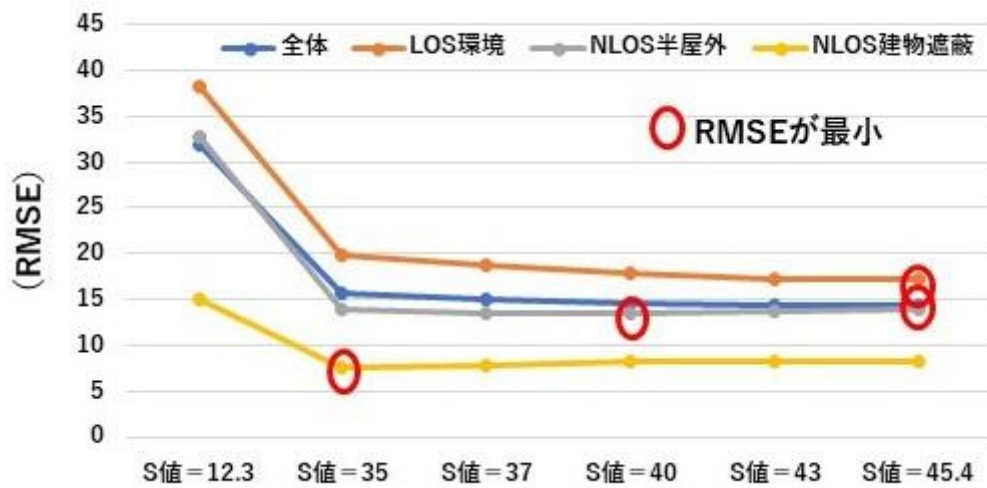


図 3-48 各領域での S 値とパスロスの RMSE

また、それぞれの伝搬環境における、S 値を補正した後の伝搬損失のグラフを図 3-49 ~ 図 3-51 に示します。

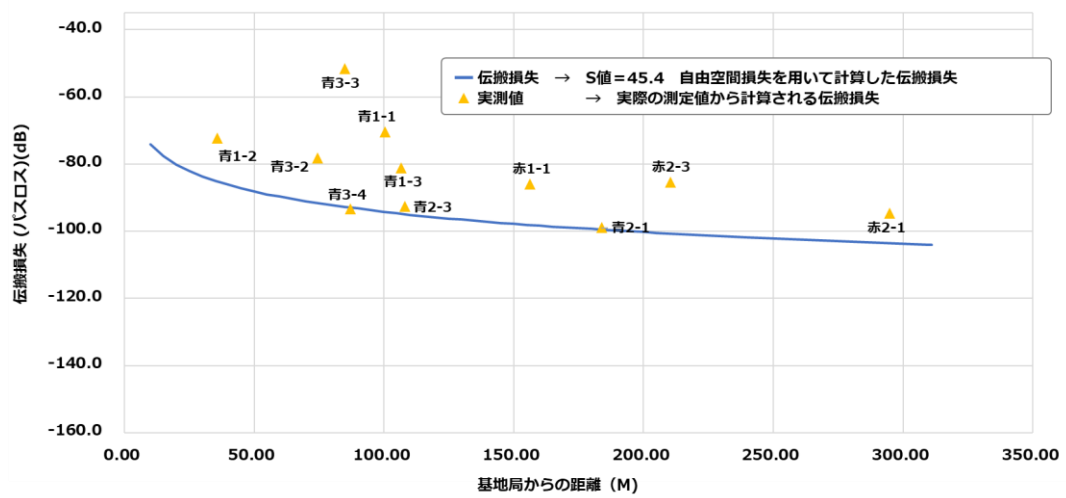


図 3-49 S 値を補正した場合の伝搬損失と実測値の分布 (LOS 環境)



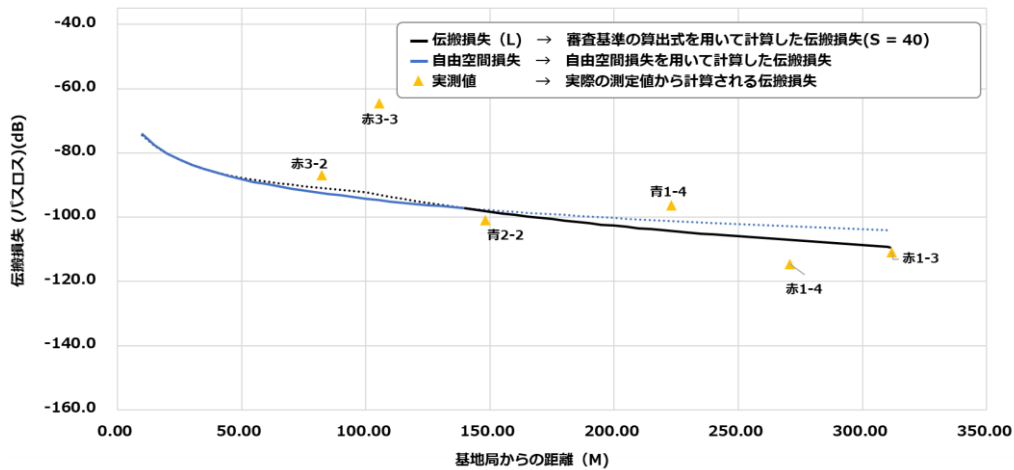


図 3-50 S 値を補正した場合の伝搬損失と実測値の分布 (NLOS 環境 (半屋外))

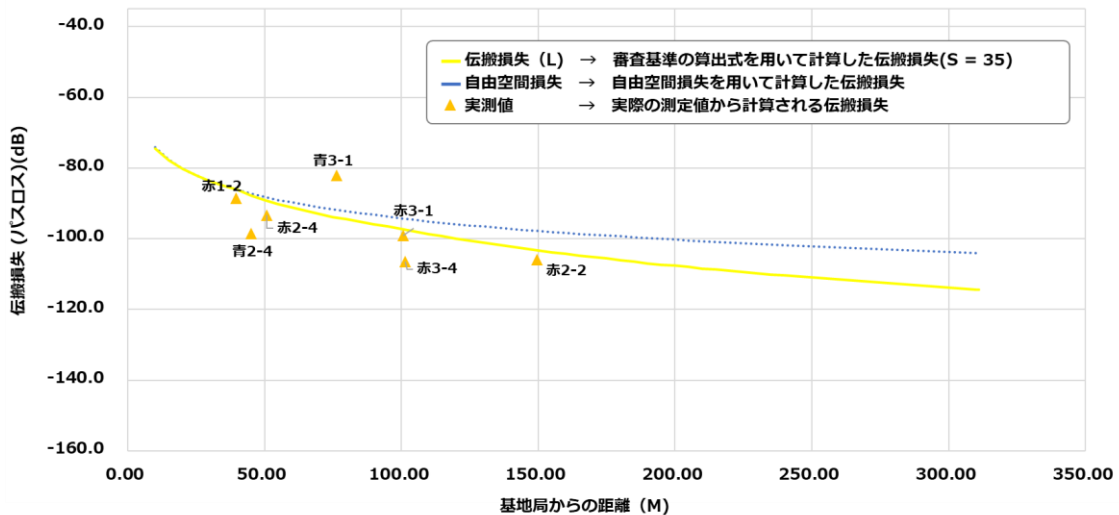


図 3-51 S 値を補正した場合の伝搬損失と実測値の分布 (NLOS 環境 (建物遮蔽))

また、LOS 環境においては、S 値を補正した場合でも、自由空間損失の算出式より伝搬損失が少ない場合は自由空間損失を採用することとなっています。一方で、実際の測定では、反射波等によるマルチパスなどが原因と思われる現象によって、受信レベルが高く測定され、見かけ上伝搬損失が小さくなったように示されています。これらの数値を、さらなる補間用の数値として、空港の滑走路やエプロンエリアなどの整理された見通し内伝搬のケースに適用できる数値として提案します。例示として、RMSE 程度を補正した場合の分散を以下に示します。本ケースでは、補正値を 17.2 加えることにより、RMSE は 11.9 まで圧縮できます。

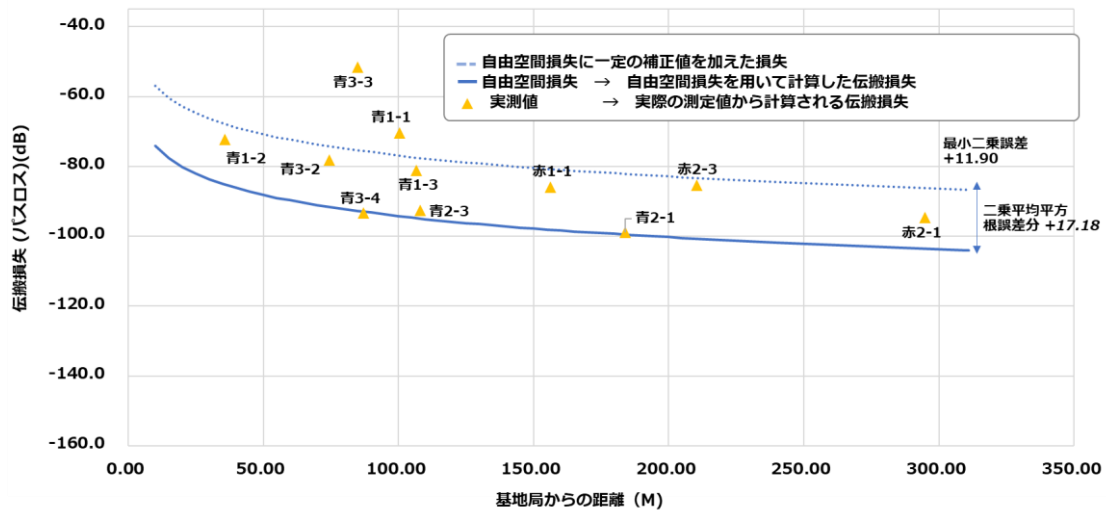
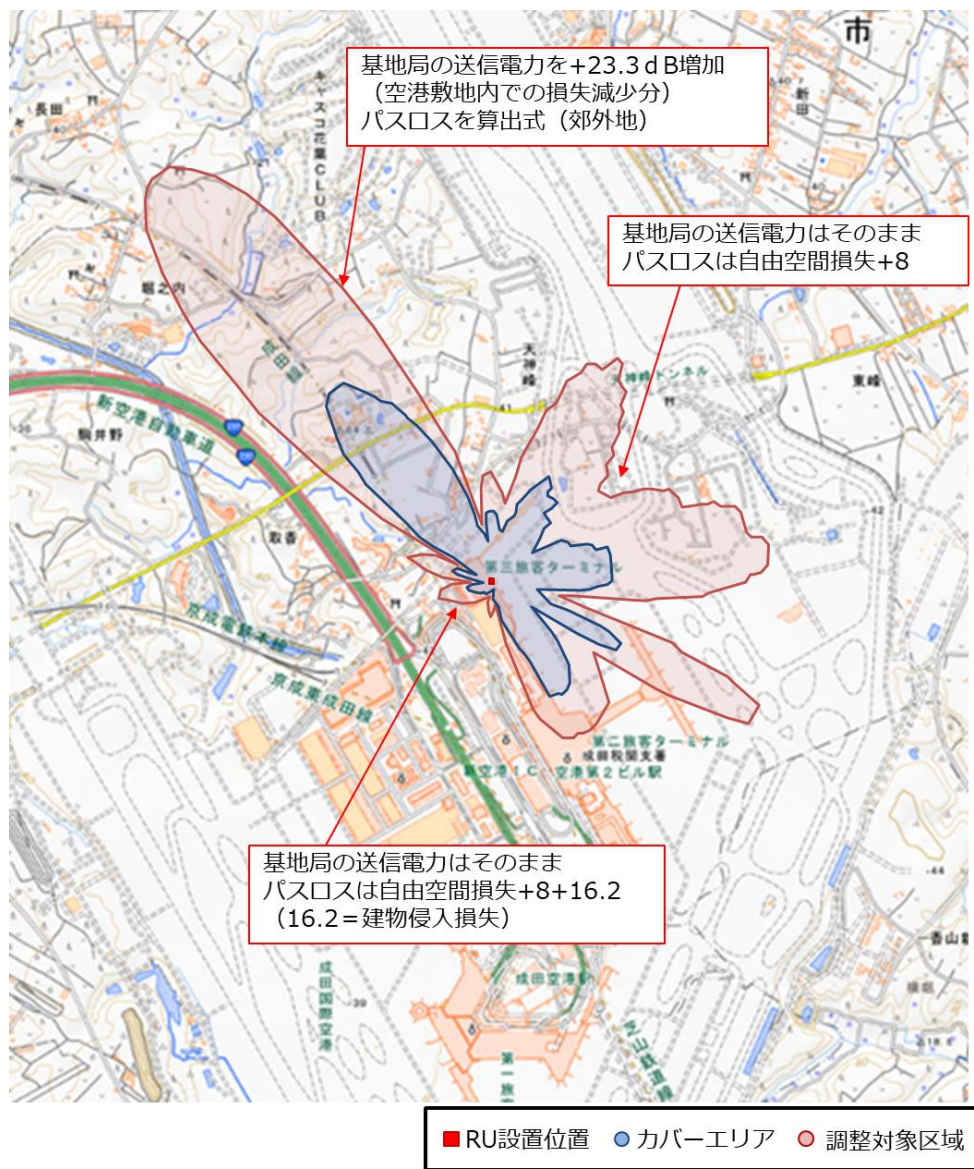


図 3-52 LOS 環境における受信電力（伝搬損失）のさらなる補正の例

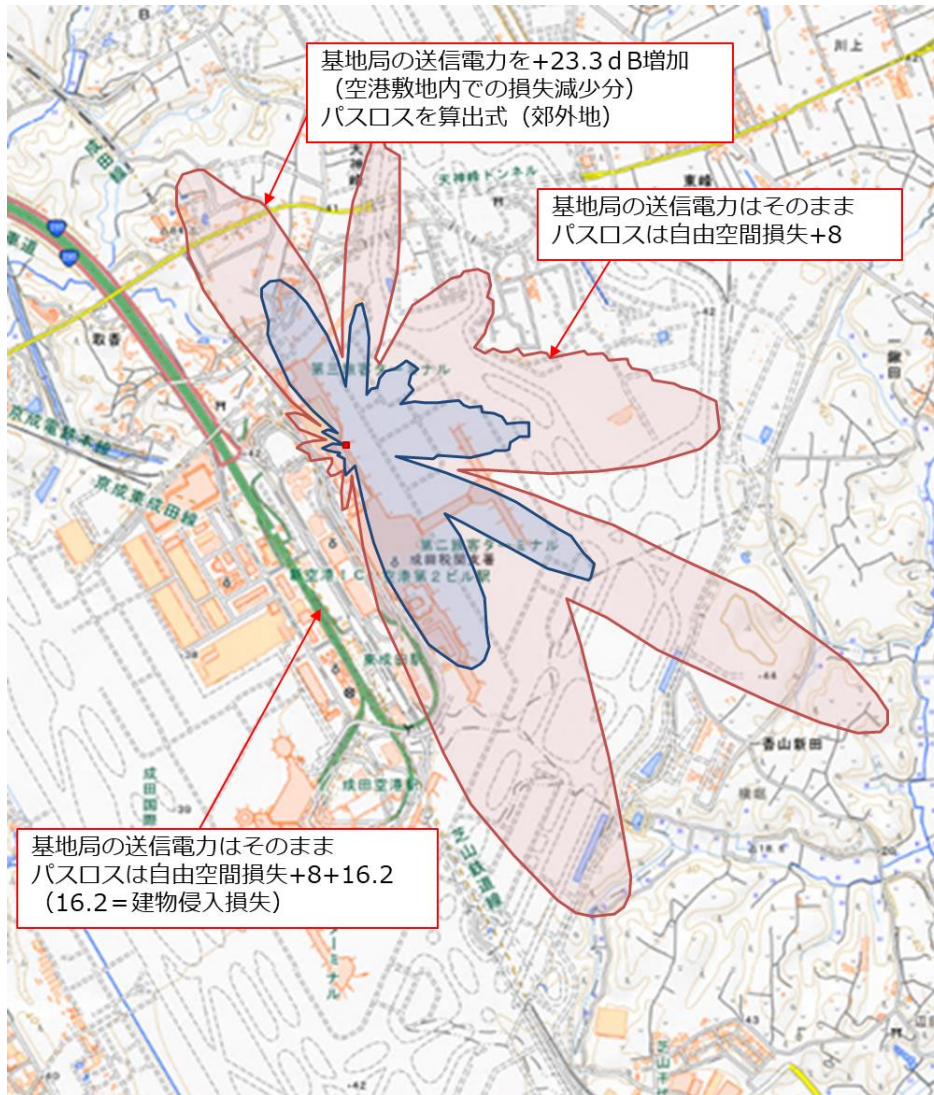
最後に、カバーエリア及び調整対象区域の再シミュレーションの例を示します。なお、各図面の注記にあるように、エリア図の作成にあたっては前述の審査基準の算出式で、S 値の補正を先述のように 37~45.4 加え、さらに、人体吸収の補正の損失-8 dB を加味して計算しています。また、建物を隔てて伝搬する場合には、建物侵入損 16.2 dB を加えています。

空港の敷地外における伝搬損失は、エリア算出式にある郊外地の  $S = 12.3$  を適用しますが、空港敷地内では前述の S 値の精緻化のとおり、伝搬損失が低下しているものとして暫定的に補正を行って試算しました。



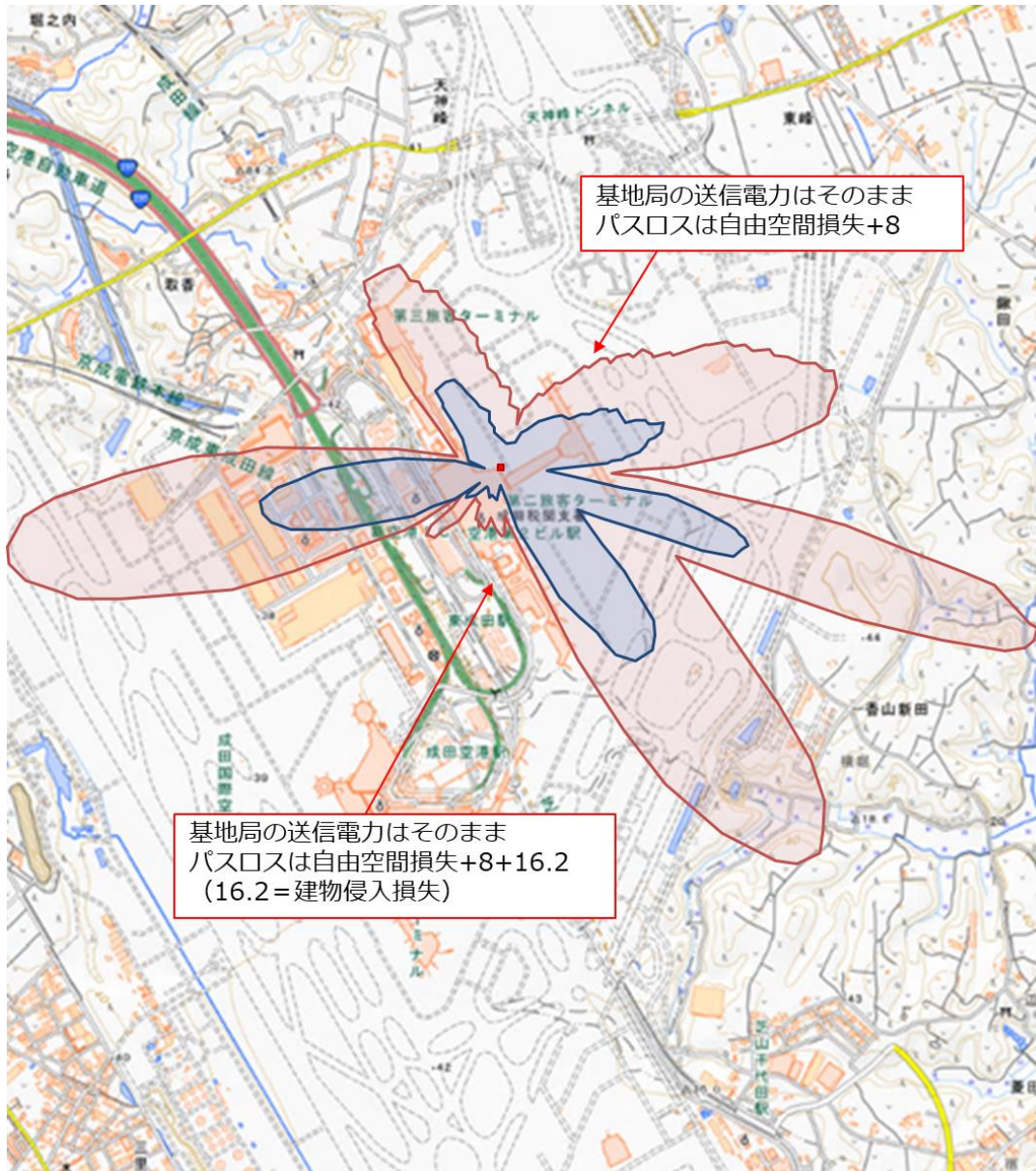
地図の出典: 地理院地図Vector (<https://maps.gsi.go.jp/vector/>)

図 3-53 自由空間損失を適用した場合のカバーエリア、干渉調整区域 (基地局 1)



地図の出典: 地理院地図Vector (<https://maps.gsi.go.jp/vector/>)

図 3-54 自由空間損失を適用した場合のカバーエリア、干渉調整区域 (基地局 2)



■ RU設置位置   ● カバーエリア   ● 調整対象区域

地図の出典: 地理院地図Vector (<https://maps.gsi.go.jp/vector/>)

図 3-55 自由空間損失を適用した場合のカバーエリア、干渉調整区域 (基地局 3)

### 3.3.3 電波反射板によるエリア構築の柔軟化

#### 3.3.3.1 実証の目的・目標

本テーマにおける取り組みはありません。

(1) 背景となる技術的課題と実証目的

(2) 実証目標

#### 3.3.3.2 実証仮説

#### 3.3.3.3 評価・検証項目

#### 3.3.3.4 評価・検証方法

#### 3.3.3.5 実証結果及び考察

### 3.3.4 準同期 TDD の追加パターンの開発

#### 3.3.4.1 実証の目的・目標

本テーマにおける取り組みはありません。

(1) 背景となる技術的課題と実証目的

(2) 実証目標

#### 3.3.4.2 実証仮説

#### 3.3.4.3 評価・検証項目

#### 3.3.4.4 評価・検証方法

#### 3.3.4.5 実証結果及び考察

### 3.3.5 その他のテーマ（他の無線システムからの被干渉）

#### 3.3.5.1 実証の目的・目標

##### （1）背景となる技術的課題と実証目的

本実証では、空港においてローカル5Gシステムの構築、運用を行います。空港近傍においては、表3-14に示すような航空機の運用に必要な不可欠な多種多様の無線設備が運用されています。

表 3-26 航空関係の各種無線システムとその周波数帯

周波数	システムの略称
2.8MHz-22MHz	HF
75MHz	ILS（マーカビーコン）
108-118MHz	ILS（ローカライザ）
108-118MHz	VOR
118-137MHz	VHF
121.5MHz, 243MHz	ELT
328-335MHz	ILS（グライドパス）
406-406.1MHz	ELT
415.5-417.5MHz	空港 MCA（移動局）
460-462MHz	空港 MCA（基地局）
970-1016MHz	地上 DME 及び TACAN
1030、1090MHz	ACAS/SSR/MLAT/WAM/ATC トランスポンダ
2700-2900MHz	ASR
4200-4400MHz	電波高度計
9200-9800MHz	合成開口レーダー
9300-9500MHz	航空機搭載気象レーダー
24.35-24.65GHz	ASDE（空港面探知レーダー）

これらに対するローカル5Gシステムからの影響は、容認されないものです。スプリア



規格の改正などにより、電波利用環境の維持、向上が図られており、他の周波数帯を使用する無線機器に対する相互の影響がないよう規制がされています。一方で近接する周波数帯との影響などは除去が困難な一面もあり、ローカル5Gにおいてもキャリア5Gとの干渉調整などの共用のための工夫が求められています。

そのような観点から、空港でのローカル5G利用において、空港特有の無線システムとして航空機の電波高度計で使用される周波数帯(4.2~4.4GHz)が、本実証で構築したローカル5Gで使用される周波数帯(4.8~4.9GHz)と近接していることから、電波高度計からの被干渉影響の確認を行います。

電波高度計は、機体下部に受発信部があり、真下へ向かって電波発射することで、反射波が戻ってくるまでの時間を測定し高度を測定する計器です。離着陸時の機体高度取得に使用されるもので、高度2500ft(760m)以下で使用可能です。



図 3-56 電波高度計からローカル5Gシステムへの被干渉イメージ

今回は、実環境におけるローカル5G利用の事例蓄積を図る観点から、電波高度計からの被干渉影響の有無を確認するものです。

## (2) 実証目標

空港内の実証エリアにおいて、電波高度計(4.2~4.4GHz)からの被干渉影響を受けず、支障なく4.8~4.9GHzを使用するローカル5Gシステムが利用できることの確認を目標とします。

### 3.3.5.2 実証仮説

電波高度計がローカル5Gシステムに与える干渉影響については、周波数離調が確保されていること(400MHz以上)、及び、電波高度計の電波が指向性(真下)を持っていることから、影響が無いものと推測します。

### 3.3.5.3 評価・検証項目

本実証での評価・検証項目は、以下の表 3-27 のとおりです。

表 3-27 評価・検証項目

項番	大項目	小項目
1	電波高度計からローカル 5 G への干渉有無の評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・離着陸時の航空機から発射されている電波高度計の周波数、受信レベルを確認するとともに、滑走路近傍でローカル 5 G 電波の有無を確認</li> <li>・実証エリア(エプロンエリア)において、電波高度計で用いられている周波数、受信レベルを確認するとともに、ローカル 5 G 電波との周波数離調を確認</li> <li>・測定結果を踏まえて「電波高度計⇒ローカル 5 G」の干渉影響が無いことを評価、確認</li> </ul>

### 3.3.5.4 評価・検証方法

表 3-28 試験手順

工程	実施内容	対応図表
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・着陸直前の航空機直下(高度約 500ft=約 152.4m)の測定点において、スペクトラムアナライザを用いて、電波高度計の周波数及び受信レベルを確認(マックスホールド機能を用いて最大値を記録)</li> <li>・測定点の選定は空港会社との調整の上、実施</li> <li>・測定は航空機の運航に支障を及ぼさないよう、空港会社の監督の下、十分に注意して実施</li> </ul>	図 3-58～図 3-59
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エプロンエリアの走行エリア周辺の測定点において、スペクトラムアナライザを用いて、電波高度計の周波数及び受信レベルを確認(マックスホールド機能を用いて最大値を記録)</li> <li>・併せて、ローカル 5 G の周波数及び受信レベルを確認(マックスホールド機能を用いて最大値を記録)</li> </ul>	図 3-60～図 3-61

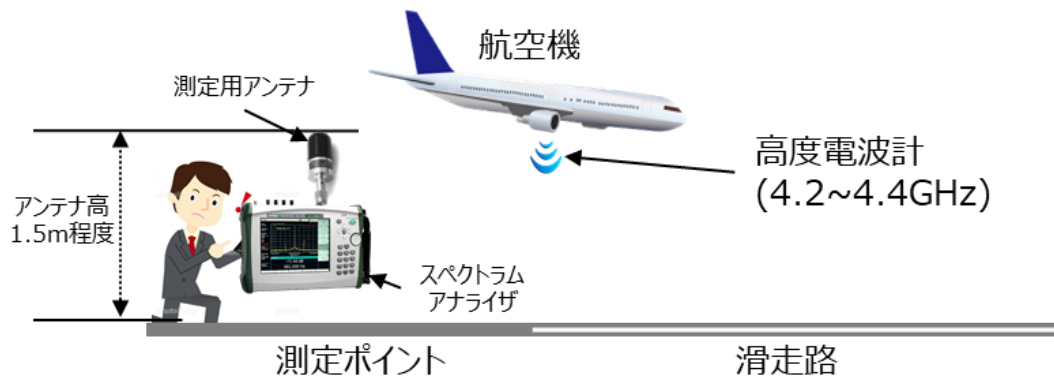


図 3-57 着陸直前の航空機直下における測定イメージ図



図 3-58 着陸直前の航空機直下における測定模様(工程 1)

工程 1 における測定点は、図 3-59 に示す滑走路の延長線上に定義し、電波高度計の電波を放射していると思われる航空機の直下で測定ができるようにしました。



図 3-59 着陸直前の航空機直下での測定(工程1)における測定点の位置

また、工程1の測定時における航空機の高度は、フリーツールである“Flightradar24: Live Flight Tracker - Real-Time Flight Tracker Map”を用いて、リアルタイムに表示される高度を確認しました。



図 3-60 エンジン稼働中の駐機航空機近傍での測定模様(工程 2)

※画像の一部を加工しています

工程 2 の測定点を定義するにあたり、スペクトラムアナライザを用いた事前測定を実施したところ、航空機のエンジンが稼働している場合には、電波高度計の電波が発射されていると思われる測定結果が得られました。そのため、工程 2 の測定点は、航空機のエンジンが稼働している状態で駐機している航空機、もしくは、駐機するためにボーディングブリッジに向かって走行してくる航空機の近傍の中から選択して定義しました。今回の測定では、後者の条件で、図 3-61



のように測定点を選び、ボーディングブリッジに向かって走行し、その後駐機状態に至った航空機について、測定を行いました。



図 3-61 エプロンエリアにおける測定(工程2)の測定点



図 3-62 工程 1 及び工程 2 における測定点の相関関係



### 3.3.5.5 実証結果及び考察

測定結果は以下のとおりです。工程 1 の結果を表 3-29 及び図 3-63 に示します。なお、保安上の観点から、スペクトラムアナライザで表示された測定結果ではなく、電波高度計の最大受信レベルと、ローカル 5 G 周波数帯におけるノイズの最大受信レベルの差分を記載します。同様に、波形についてもイメージ画像を掲載します。

表 3-29 測定結果(工程 1)

項目	電波の有無	測定点に対する最寄航空機(エンジン稼働中)の高度[ft]	最大受信レベルの差 [dB] ※ローカル 5 G の周波数帯におけるノイズ等と、電波高度計を比較(注)
電波高度計	有	500	-19.6
ローカル 5 G	無		

※受信電力は小数第 2 位で四捨五入

(注) 電波高度計からローカル 5 G の周波数帯におけるノイズ等の漏れこみ量については、スペクトラムアナライザの雑音レベルがあり、-19.6 dB 以上の差を測定できませんでした。当該雑音レベルは電波高度計が無い状態でも存在していたレベルでした。

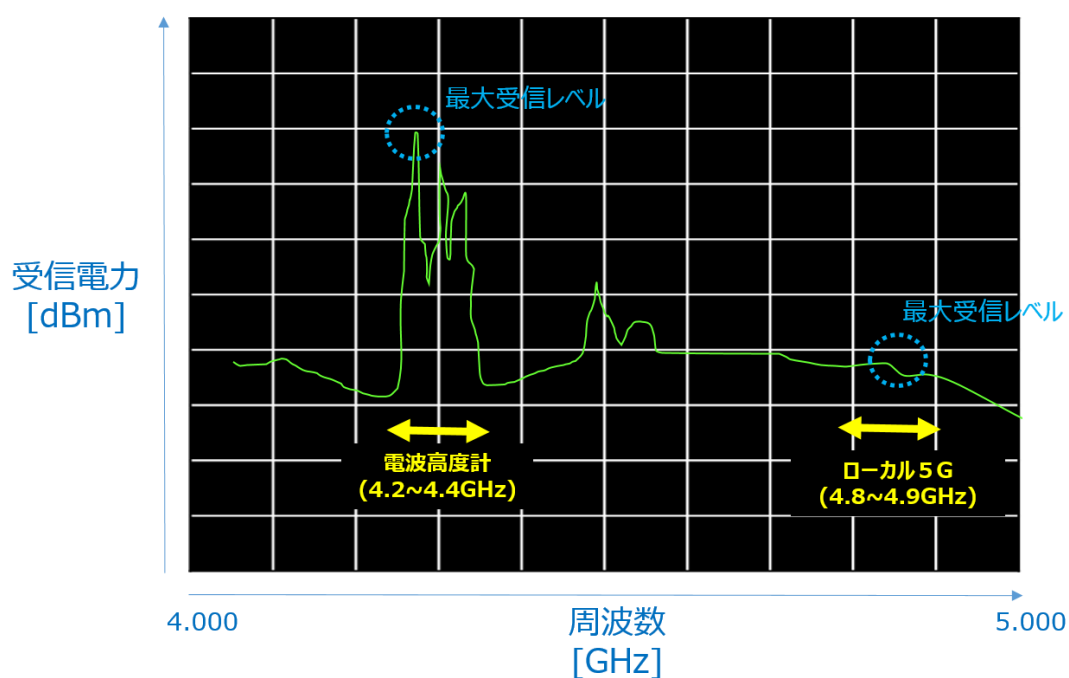


図 3-63 スペクトラムアナライザ上での結果表示イメージ(工程 1)

また、工程 2 における測定結果を表 3-30 及び図 3-64 に示します。掲載方法は工程 1 と同様です。電波高度計の最大受信レベルは、工程 1 の結果とほぼ同じになりました。

表 3-30 測定結果(工程 2)

項目	電波の有無	測定点に対する最寄航空機(エンジン稼働中)の高度[ft]	最大受信レベルの差 [dB] ※ローカル 5 G と電波高度計を比較
電波高度計	有	0	11.6
ローカル 5 G	有		

※受信電力は小数第 2 位で四捨五入

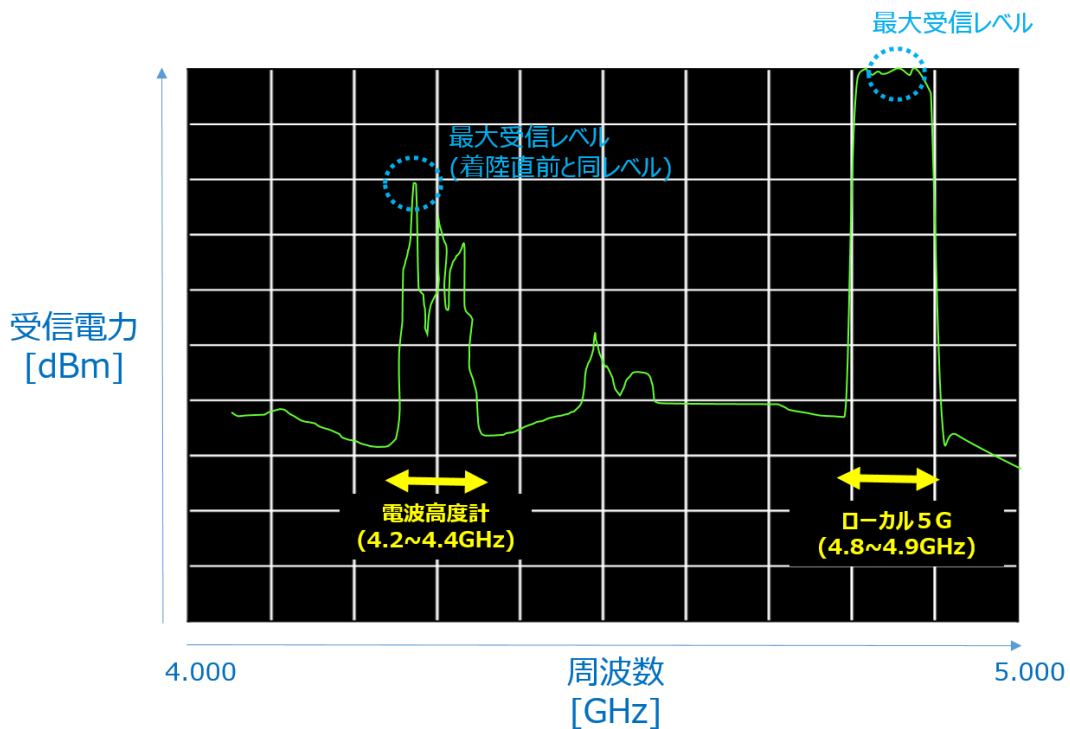


図 3-64 スペクトラムアナライザ上での結果表示イメージ(工程 2)

測定結果を踏まえた考察は、以下の 3 項目に分けて行います。

- ローカル 5 G から電波高度計への干渉影響の有無
- 干渉影響の有無を判断するための指標
- 電波高度計からローカル 5 G への干渉影響の有無

#### ◇ 干渉影響の有無を判断するための指標

ここでは、異なる周波数帯の電波が互いに干渉しないための指標について検討します。本実証で得られた測定結果に関連する基準を選択し、後述する考察を裏付けるための指標として用いることとします。

無線通信に関する規格・基準には様々なものがありますが、本実証では ITU(国際電気通信連合)にて標準化された基準を用います。特に、無線通信 ITU-R(国際電気通信連合 無線通信部門)から示された勧告について考えます。ITU-R から発出されている勧告のうち、“M Series”は、「移動、無線測位、アマチュア業務及び関連する衛星業務」(一般財団法人 日本 ITU 協会の HP より引用)を対象としており、ローカル 5 G 通信はこれに該当します。この“M Series”のうち、ITU-R 勧告“M. 2292-0”(2014 年)には、表 3-31 で示される基準が記載されています。

表 3-31 ITU-R M. 2292-0 における IMT-Advanced に対する保護基準

Protection criterion (I/N)	-6dB
----------------------------	------

(ITU-R M. 2292-0 の“6 Protection criterion for IMT-Advanced”より引用)

※セル数に関係せず、また干渉源の数に依存しない

保護基準は、異なる周波数帯の電波が互いに干渉影響を受けないための基準です。ここで、IMT-Advanced は、ITU 勧告において第 4 世代携帯電話技術(4G)を指します。第 5 世代移動通信システム(5G)は、ITU 勧告では IMT-2020 と呼ばれますが、IMT-2020 に対する保護基準は未だ勧告されていないため、本項目では、IMT-Advanced の保護基準を用いることとします。表 3-31 を見ると、干渉波レベルが熱雑音レベルと比べて 6dB 以上小さければ、干渉影響を受けないことができます。I/N は干渉電力対雑音比と呼ばれるものです。ここで、自らの電波(搬送波)と自らの熱雑音(雑音)の関係を表すと、所要 C/N と同義になり、表 3-32 のように表されます。

表 3-32 所要 C/N の算出式

所要 C/N[dB]	搬送波 C[dBm] - 雑音 N[dBm]
------------	------------------------

以上より、自らの電波(搬送波)C と干渉波 I において、所要 C/I が所要 C/N よりも 6dB 以上大きな値を取れば、干渉波 I は保護基準値以下となり、搬送波は干渉波の影響を受けないということになります。したがって、本テーマでは、周波数帯の異なる電波から干渉を受けないための指標として、下記を用いることとします。

表 3-33 異なる周波数帯の電波から干渉影響を受けないための指標

所要 C/I[dB]	所要 C/N+6.0[dB] 以上
------------	-------------------

※搬送波を自らの電波、干渉波を周波数帯の異なる相手の電波とする

#### ◇ ローカル5 Gから電波高度計への干渉影響の有無

当初、空港における離着陸の前後では常に電波を発射した状態にあると想定していました。すなわち、電波高度計から電波が発射されているタイミングとして、下記①、②のいずれかのみを考慮していました。

- ① 高度 2,500ft(760m) ～ 着陸直後
- ② 離陸直後 ～ 高度 2,500ft(760m)

しかしながら、現地測定の結果、航空機はエプロンエリアにてボーディングブリッジに駐機している場合でも、エンジンが稼働している状態では、電波高度計から電波を発射していると判断できる測定結果が得られました。すなわち、電波高度計の電波が発射されているタイミングとしては、離着陸の直後・直前(上述の①、②)と、エプロンエリアにてエンジン稼働状態で走行・駐機の2パターンがあることが分かりました。

まず、電波高度計は、離着陸の直後・直前において、航空機の高度を確認するためのシステムのため、着陸後、すなわちエプロンエリアにて走行・駐機している際には運用していません。また、ローカル5 G(4.8～4.9GHz)と電波高度計(4.2～4.4GHz)の間に十分な周波数離調が確保されていること、及び、情報通信審議会の検討資料においても電波高度計に対する干渉影響の検討対象として高度 17m 以上を定義していることから、本実証においても、ローカル5 Gから電波高度計への干渉影響の検討範囲を離着陸の直後・直前とします。(参考：平成 30 年度 情報通信審議会 情報通信技術分科会 新世代モバイル通信システム委員会報告(案))

以下、離着陸の直後・直前における航空機の電波高度計に対して、ローカル5 Gシステムが干渉影響を与えないことを確認します。まず、ローカル5 Gの基地局はエプロンエリア内に設置されており、以下の図 3-65 のように、滑走路から最も近い基地局でも約 1.5km の離隔が確保されています。



図 3-65 滑走路と基地局との離隔

ここで、実施計画書に記載していた共用条件について、本実証における環境の実際の状況を反映したものを追記して再掲すると、以下のようになります。

表 3-34 3.7GHz 帯及び 4.5GHz 帯 5 G システムと電波高度計共用条件と本実証での対応状況

共用条件	本実証での対応状況
航空機電波高度計が用いる周波数と 5 G システムが用いる周波数の間に 100MHz 程度の周波数離調を設ける。	本実証で使用する周波数は 4.8-4.9GHz であり、400MHz の離調を確保している。
帯域内干渉の影響の回避のため、基地局へのフィルタ挿入を行い、不要発射の強度を低減させる。(航空機電波高度計が用いる周波数(4.2-4.4GHz)へ落ち込む不要発射の強度について、スモールセル基地局では 30dB 程度低減、マクロセル基地局では、下記の空港周辺での設置回避の対応と組み合わせて 30dB 程度低減)。	フィルタの挿入は行わない。
帯域外干渉の影響の回避のため、空港周辺(1km 程度)において、航空機の進入経路の周囲 100-200m 程度の範囲にはマクロセル基地局の設置を回避する。	本実証での置局位置は、北風運用時及び南風運用時ともに、航空機の進入経路から 200m 以上(最低 1.5km)の離隔がなされている。

本実証では、ローカル 5 G システム(4.8~4.9GHz)が電波高度計に対して、上表のように、周波数離調と離隔が十分に確保されていること、及び、電波高度計の電波が真下への指向性を持っていることを考慮して、フィルタの挿入を行いませんでした。以上の条件で構築したローカル 5 G が電波高度計に対して、干渉影響を与えないことを確認します。

ここで、電波高度計が他の電波から干渉影響を受けないための保護基準について考えます。情報通信審議会から発出された資料(平成 30 年度 情報通信審議会 情報通信技術分科会 新世代モバイル通信システム委員会報告(案)、以下、情報通信審議会資料)には、下記の保護基準が掲載されており、この基準を本実証でも用いることとします。

表 3-35 航空機電波高度計の保護基準(勧告 ITU-R M.2059 Annex 3, Section 3)

干渉形態	勧告上の記載	値
帯域内干渉	Desensitization (感度劣化)	$I/N = -6 \text{ dB}$ $\ast N = -114 \text{ dBm/MHz} + 10 \log(B_{R,IF}) + N_F$ $B_{R,IF}$ : 中間周波数帯域幅 $N_F$ : 雑音指数

(引用:平成 30 年度 情報通信審議会 情報通信技術分科会  
新世代モバイル通信システム委員会報告(案))

まず、表 3-35 に記載の I/N を求めるために、干渉波であるローカル 5 G の受信電力 I を求めます。ここで、航空機の位置を、基地局 2 から 1.5km 離れた点とし、高度を 50m とします。高度を 50m としたのは、情報通信審議会資料に高度 50m にて干渉条件が最も厳しくなるとの記載があったことによります。また、総務省告示第二十三号（平成三十一年一月二十四日）の「無線設備規則 別表第三号（第 7 条関係）17-(3) 告示第二十三号-1-5-(1)-(ア)：帯域外領域」を参考に、本実証で構築したローカル 5 G システムが電波高度計の周波数帯域(4.2~4.4GHz)に発射する不要発射の送信電力を、-13dBm とします。その他の条件を<参考>のように定義すると、基地局 2 から 1.5km の地点を高度 50m で飛行する航空機において、電波高度計の周波数帯に発射される、ローカル 5 G の不要発射の受信電力は、下記の表 3-36 のようになります。

表 3-36 ローカル 5 G の不要発射の受信電力

電波高度計の周波数帯に発射されるローカル 5 G の不要発射の受信電力[dBm]	-142.143
--	----------

※エリア算出法により算出

<参考>ローカル 5 G の不要発射の受信電力算出で用いた条件

中心周波数[MHz]	4849.98
空中線高[m]	4
受信点の高さ(航空機の高度)[m]	50
基地局と受信点との距離[km]	1.5
伝搬損失(「開放地」を適用)[dB]	32.5
送信電力[dBm]	-13
空中線利得[dBi]	17
給電線損失[dB]	5.3

したがって、干渉波であるローカル 5 G の受信電力 I が、 $I = -133.143$  [dBm] と求められました。

続いて、電波高度計システムの熱雑音である N を求めます。N の算出には、表 3-35 に記載の式を用います。ここで、干渉検討に用いる航空機電波高度計の諸元としては、情報通信審議会資料に記載の諸元のうち、最も干渉条件が厳しくなることとされる D4 を用いることとします。以下に D4 の諸元を示します。

表 3-37 干渉検討に用いる航空機電波高度計の諸元 (受信側)

	D4
感度 [dBm]	-95
雑音指数 [dB], $N_F$	10
受信機飽和入力レベル [dBm], $P_{T, RF}$	-40
-3dB 中間周波数帯域幅 [MHz], $B_{R, IF}$	30

(引用：平成 30 年度 情報通信審議会 情報通信技術分科会  
新世代モバイル通信システム委員会報告 (案) )

上表の諸元を表 3-35 に記載の式に代入して、電波高度計の熱雑音  $N$  を求めると、以下の表 3-38 のようになります。

表 3-38 電波高度計の熱雑音  $N$  の算出

電波高度計の熱雑音 [dBm]	$N = -114 + 10\log(B_{R, IF}) + N_F$ $= -114 + 10\log 30 + 10$ $= -89.2288 \text{ [dBm]}$
-----------------	---

以上より、ローカル 5 G が電波高度計の周波数帯に発射する不要発射  $I$  [dBm] と、電波高度計の熱雑音  $N$  [dBm] に対する  $I/N$  は、以下の表 3-39 のようになります。

表 3-39  $I/N$  の算出

$I/N$	$I/N = -142.143 - (-89.2288)$ $= -52.9142$ $> -6$
-------	---

したがって、 $I/N$  が表 3-35 の条件を満たすことが分かります。すなわち、エプロンエリア内に構築されたローカル 5 G システムと、1.5km 以上離れた滑走路上空付近において離着陸する航空機の電波高度計を前提とした場合、ローカル 5 G が電波高度計に及ぼす干渉影響は無いと考えることができます。



◇ 電波高度計からローカル5Gへの干渉影響の有無

最後に、電波高度計からローカル5Gへの干渉が無いことを評価・確認します。まず、工程1と工程2で得られた測定結果について検討します。工程2の結果により、工程1と工程2の測定点で、電波高度計の受信レベルは同等になることが分かりました。ここで、工程1の測定点と工程2の測定点の離隔は、以下の図3-66に示すように約4.3kmとなります。また、滑走路と工程2の測定点との離隔についても、最低でも約1.5km確保されていることが分かります。



図 3-66 測定点間(工程1及び工程2)の離隔

実施計画書で記載した表3-40の共用条件を参考にした場合でも、1.5km～4.3kmの離隔は十分な距離であると考えられます。

表 3-40 3.7GHz 帯及び 4.5GHz 帯 5 G システムと電波高度計共用条件(抜粋)

共用条件
帯域外干渉の影響の回避のため、空港周辺(1 km 程度)において、航空機の進入経路の周囲 100-200m 程度の範囲にはマクロセル基地局の設置を回避する。

したがって、滑走路もしくは滑走路近傍での電波高度計の電波は、エプロンエリア内のローカル 5 G に影響を及ぼす電波高度計の電波は、滑走路もしくは滑走路近傍における電波高度計による電波ではなく、エプロンエリア内における駐機航空機から発射される電波高度計による電波であると考えられます。すなわち、エプロンエリア内で考慮すべき電波高度計の電波は、エプロンエリア内に駐機しているエンジン稼働状態の航空機から発射される電波高度計の電波のみということになります。以上の方針で検討を進めます。

まず、エプロンエリアにおいて、ローカル 5 G と電波高度計の間に成り立つ所要 C/N の関係について検討します。ここでも ITU-R の勧告を元にローカル 5 G システムの熱雑音 N を算出します。ITU-R M. 2292-0 には、IMT-Advanced のシステム仕様として、基地局及び移動機の雑音指数(ノイズフィギュア)  $N_f$  が定義されています。それぞれの雑音指数  $N_f$  は下記の表 3-41 のようになります。

表 3-41 IMT-Advanced 基地局及び移動機の雑音指数

基地局[dB]	5~13
移動機[dB]	9

スペクトラムアナライザで取得しているデータは、受信機(移動機)で受信しているものであることから、雑音指数  $N_f$  は移動機のものを適応することとします。よって、ローカル 5 G システムの熱雑音 N を求めると、下記の表 3-42 のようになります。ただし、式中の各値は<参考>のように定義しました。

表 3-42 ローカル 5 G システムの熱雑音の導出

手順	項目	式と結果
1	N[W]を算出	$N = kBTf = 3.1146 \times 10^{-12} [W]$
2	N[W]をN[dbW]に変換	$N = 10 \times \log_{10}(kBTf) = -115.0659838 [dBW]$
3	N[dbm]に変換	$N = N[dbW] + 30 \doteq -85.07 [dBm]$

＜参考＞熱雑音の導出に用いた各値の定義

ボルツマン定数 $k$ [J/K]	$1.38065 \times 10^{-23}$
帯域幅 $B$ [MHz]	100
温度 $T$ [K] (温度 $11^{\circ}\text{C}$ と想定)	284
雑音係数 $F$ (雑音指数 $N_f = 9$ を適用)	$10^{0.9} = 7.94328235$

ここで、ローカル 5 G の受信レベルが最低となる点を想定すると、カバーエリアのエリア端が考えられます。エリア端の閾値は  $-84.60$  [dBm] と規定されているため、この値をカバーエリアにおけるローカル 5 G 受信レベルの最低値とみなします。そして、ローカル 5 G の受信レベルが最低である点においても、干渉影響を受けないための条件を導出し、エプロンエリアにてローカル 5 G が電波高度計の干渉影響を受けないことを確認します。以上より、搬送波  $C$ 、熱雑音  $N$ 、干渉波  $I$  は、下記のように定義・整理できます。

表 3-43 搬送波、熱雑音及び干渉波の定義とその値

電波	本実証での定義	値
搬送波 $C$ [dBm]	ローカル 5 G のエリア端受信電力	$-84.60$
熱雑音 $N$ [dBm]	ローカル 5 G システムの熱雑音	$-85.07$
干渉波 $I$ [dBm]	電波高度計の受信電力	-

したがって、表 3-33 及び表 3-43 から、エプロンエリアにてローカル 5 G が電波高度計から干渉影響を受けないための条件は、図 3-67 に示します。

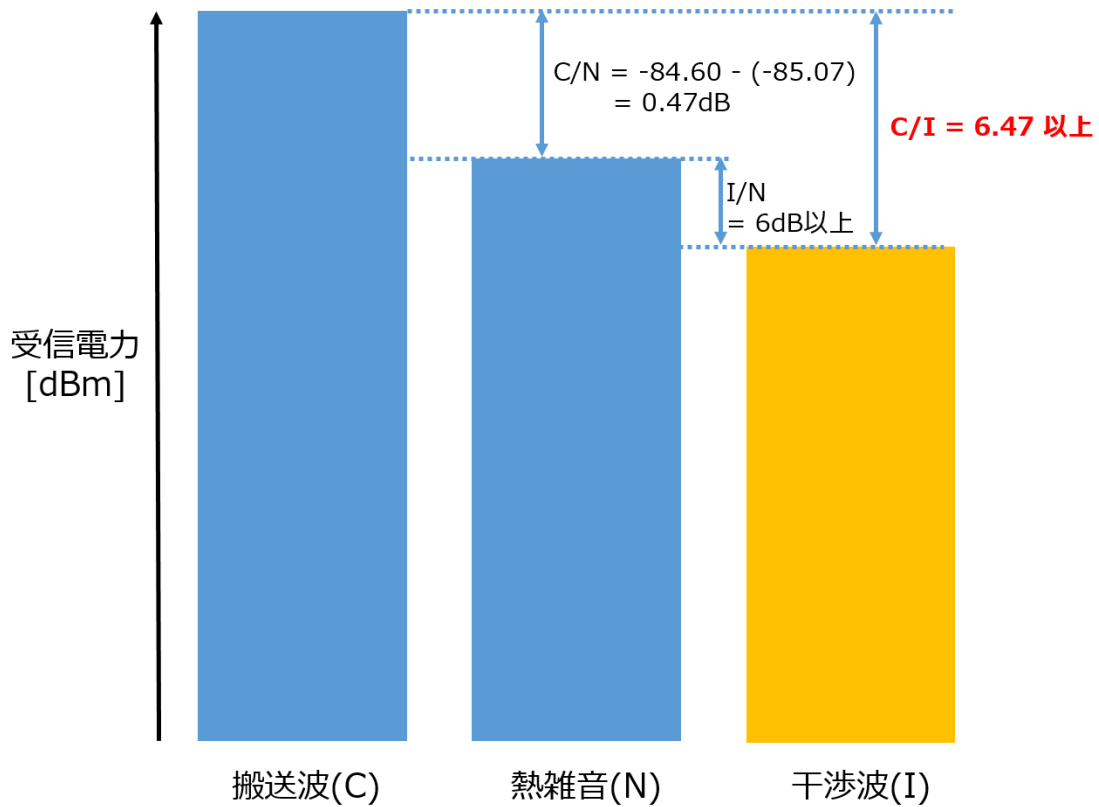


図 3-67 ローカル 5 G が電波高度計から干渉影響を受けない条件のイメージ

次に、本実証で構築したローカル 5 G 環境を考慮して、C/I を求めます。ここでは、走行エリアに沿ったカバーエリアについて考えます。その場合、カバーエリア内の各点における受信電力は、表 3-8 に記載されている値となります。本実証の工程 2 における測定点は、図 3-9 及び図 3-61 より、表 3-8 における測定点 17 と等しくなります。また、表 3-8 を見ると、カバーエリアのエリア端閾値となる $-84.6\text{dBm}$  を SS-RSRP に変換した値である、 $-119.8\text{dBm}$  を示す点が無いことが分かります。したがって、カバーエリアのエリア端閾値ではなく、実際の環境では表 3-8 において受信電力が最小となる点を選んで、C/I を求める必要があります。

(再掲)表 3-8 走行エリア 各測定ポイントでの受信電力及び伝送性能

測定 ポイ ント	受信電力 [dBm] (中央値)	DL-T-put [Mbps]	UL-T-put [Mbps]	Iperf スループット値		RTT [ms]
				DL スループット [Mbps]	UL スループット [Mbps]	
1	-93.6	897	116	769	14	13.7
2	-94.7	721	116	624	109	13.9
3	-90.7	546	116	487	112	13.6
4	-97.1	738	116	647	113	14.5
5	-90.1	726	116	626	113	13.7
6	-74.1	797	116	678	113	16.7
7	-92.3	849	116	725	101	16.1
8	-92.7	529	116	434	113	13.6
9	-83.4	714	116	621	113	14.1
10	-103.0	680	88	598	76	15.7
11	-104.2	677	76	582	66	15.7
12	-93.6	673	108	582	92	11.7
13	-99.6	955	116	817	112	15.7
14	-97.0	740	88	657	76	14.8
15	-84.0	811	116	725	113	13.0
16	-98.0	639	114	548	102	12.9
17	-90.8	581	116	493	113	13.0
18	-87.8	814	116	713	113	13.1
19	-99.5	598	116	498	108	12.1
20	-89.2	605	111	521	96	13.8

よって、表 3-8 から受信電力が最低となる点を選ぶと、測定点 11 が当てはまります。ここで、工程 2 の測定点(=上表の測定点 17)において、スペクトラムアナライザで測定された受信レベルから、測定点 11 の想定受信レベルを求めます(エリアテスタで測定した SS-RSRP である表 3-8 の測定値と、スペクトラムアナライザで測定した RSRP である表 3-30 の測定値が異なるため)。工程 2 での測定値と、スペクトラムアナライザで記録されると想定される測定点 11 の受信レベルの差分は、表 3-8 における測定点 17 と測定点 11 の差分を参考に、下記の表 3-44 のように求められます。

表 3-44 スペクトラムアナライザで測定できると想定されるローカル5G測定値の差分

番号	測定点	エリアテスタでの 測定結果[dBm]	スペクトラムアナライザでの 測定結果[dBm]
①	測定点 17	-90.8	(非公表)
②	測定点 11	-104.2	(非公表)
差分 (① - ②)		13.4dB	13.4dB

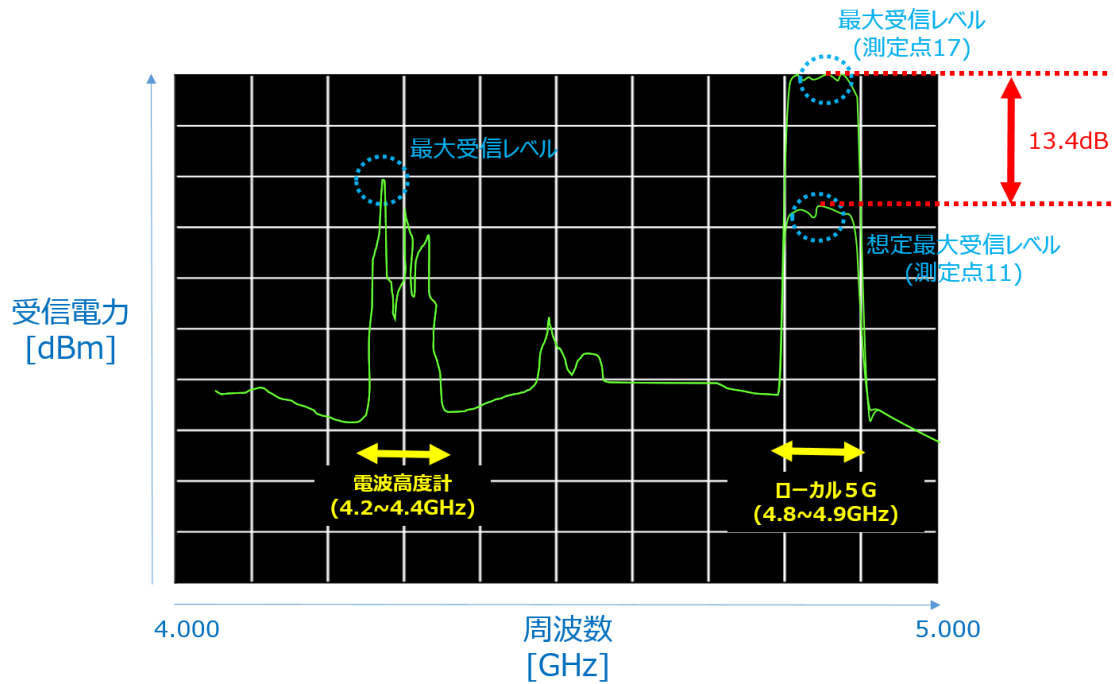


図 3-68 測定点 11 での想定最大受信レベルと測定点 17 の比較イメージ



図 3-69 測定点 17 と測定点 11 の相関図

以上を踏まえて、下記 1~4 の手順により、所要 C/I が図 3-67 で表される条件を満たすことを確認します。

表 3-45 所要 C/I が電波高度計からの干渉影響を受けない条件を満たすことの確認

手順	検討内容	結果
1	測定点 11 での想定最大受信レベルと、電波高度計メイン波の最大受信レベルを比較し、差分を算出	$13.4 - 11.6 = 1.8[\text{dB}]$
2	電波高度計メイン波の最大受信レベルと、電波高度計から 4.8~4.9GHz に染み出すノイズ等(=干渉波)を比較し、差分を算出(工程 1 の結果を引用)	19.6[dB]
3	手順 1 及び手順 2 の結果より、測定点 11 での想定最大受信レベルと、電波高度計から 4.8~4.9GHz に染み出すノイズ等(=干渉波)の差分を計算し、所要 C/I を算出	$C/I = 19.6 - 1.8$ $= 17.8[\text{dB}]$
4	手順 3 の結果より、所要 C/I は、図 3-67 の条件を満たすことを確認	$C/I = 17.8 > 6.47$

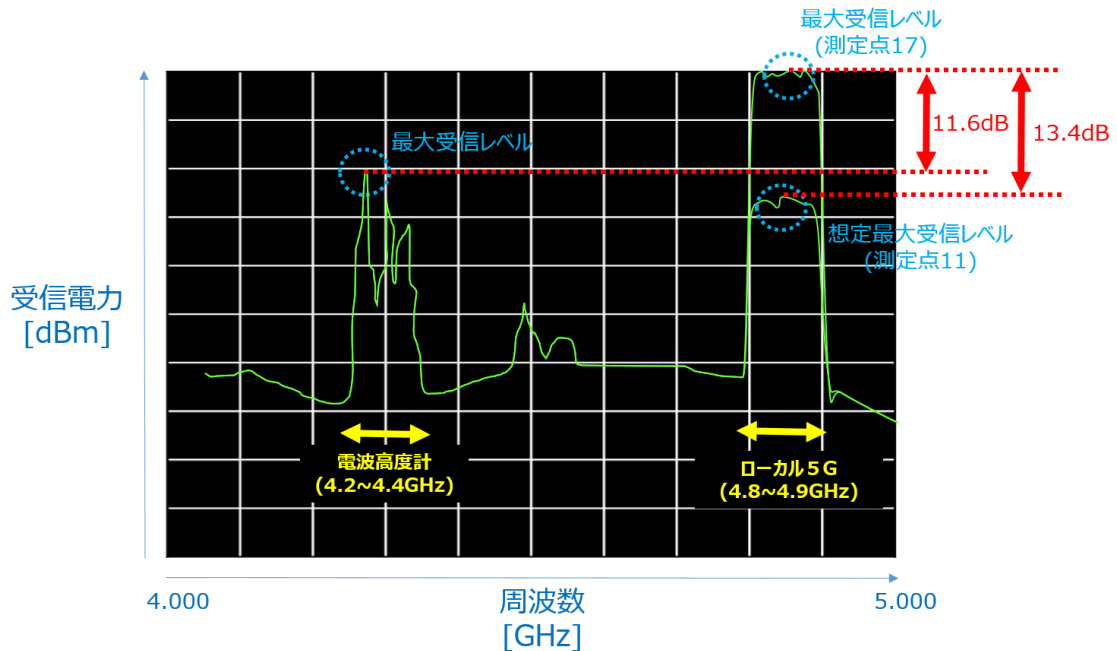
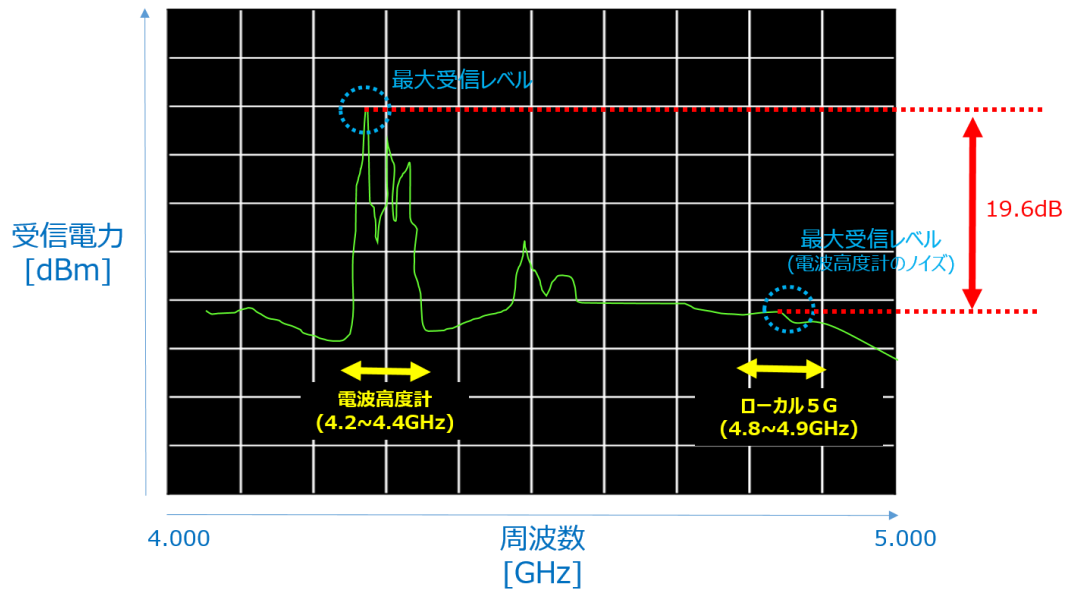


図 3-70 手順 1 の結果算出イメージ





図

3-71 手順2の結果算出イメージ

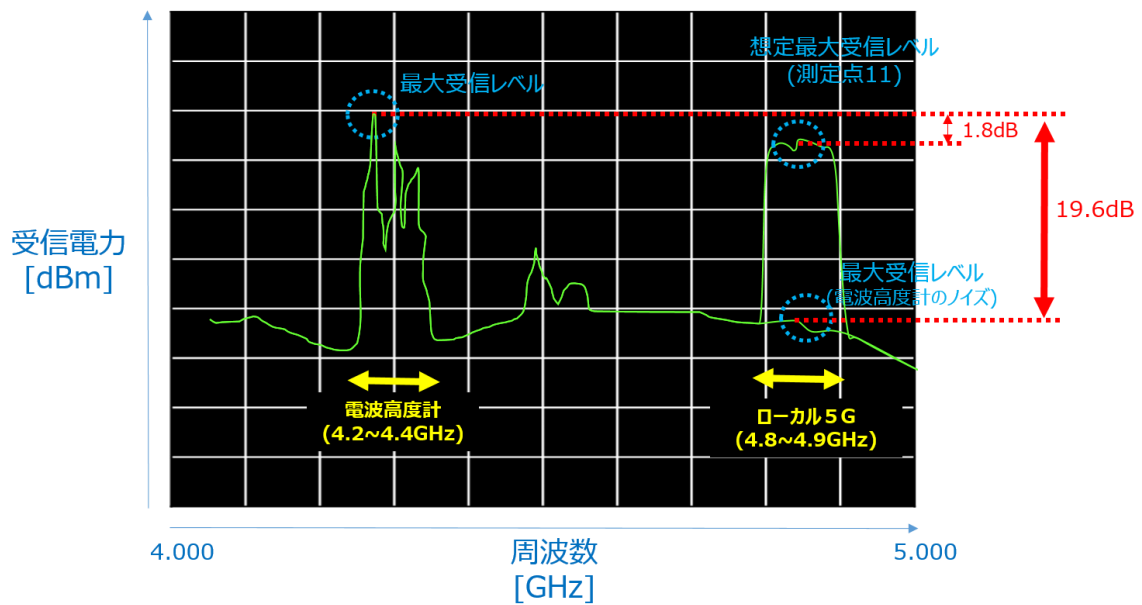


図 3-72 手順3の結果算出イメージ

以上の検討結果から、エプロンエリアにおいて、ローカル5Gは、エンジン稼働状態の駐機航空機が発射される電波高度計の電波から干渉影響を受けないと考えられます。

なお、参考として、エプロンエリアにてエンジン稼働中の航空機が走行もしくは駐機を繰り返している環境の中で測定した、ローカル5Gの伝送性能を以下の表 3-46 に示します。この結果から、エプロンエリアにおいて、ローカル5Gが電波高度計と共存し、ローカル5Gの所要性能(UL スループット:35、RTT:50ms)を満たしていると考えられます。測定点は、図 3-73 に示すように、測定点から半径 200m 以内にエンジン稼働中の航空機が駐機、もしくは走行している状態の点を選択しました。

表 3-46 エンジン稼働中の航空機近傍におけるローカル5Gの伝送性能

測定 ポイ ント	DL-T-put [Mbps]	UL-T-put [Mbps]	Iperf スループット値		RTT [ms]
			DL スループット [Mbps]	UL スループット [Mbps]	
1	779	117	653	112	12.5
2	677	115	566	104	13.0
3	603	80.7	493	65.8	14.0



図 3-73 伝送性能の測定ポイント

### 3.3.6 その他のテーマ（複数基地局間でのハンドオーバ）

#### 3.3.6.1 実証の目的・目標

##### （1）背景となる技術的課題と実証目的

本実証では、空港内における自動運転の実現に向け、広域をカバーできるようローカル5Gのエリア化を行います。広域をカバーエリア化するためには複数の基地局を設置することが想定されますが、その際にハンドオーバが実装されていない場合には、基地局間をまたぐ際に通信の一時的な切断が発生します。

自動運転車両において、遠隔監視拠点へのリアルタイムでの映像伝送が必要になりますが、この一時的な切断は継続した映像伝送の阻害要因となり、ハンドオーバによる無瞬断での基地局間をまたぐ通信の可否の確認と、ハンドオーバ時の伝送性能が担保されていることが求められるため、ハンドオーバ時の通信性能を評価しました。

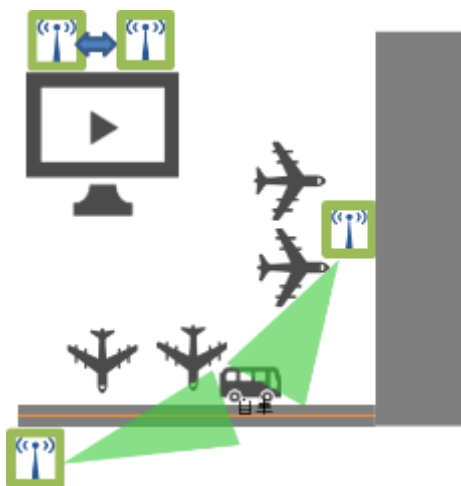


図 3-74 走行中のハンドオーバ概念図

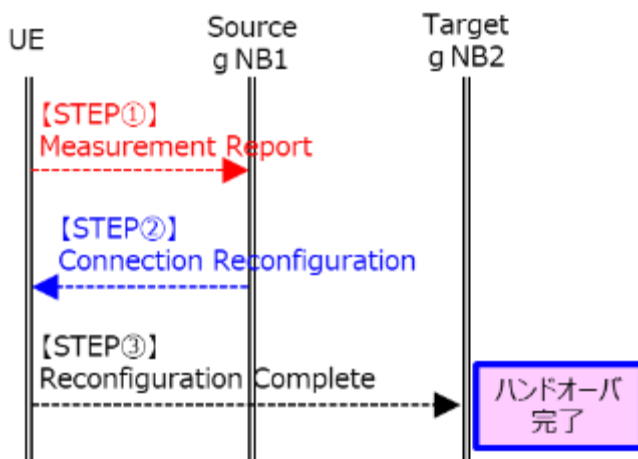
##### （2）実証目標

本実証では、車内へ端末を持ち込み自動運転車両の想定速度である 15km/h 以下での走行による基地局間をまたいだ（ハンドオーバ）時の無瞬断による通信の継続可能であることの確認と、ハンドオーバの前後・ハンドオフ時における、受信信号（SS-RSRP など）及び伝送性能（UL/DL スループット、RTT）の推移を確認することを目標としました。

#### 3.3.6.2 実証仮説

ハンドオーバが実行されると、接続先基地局が変更されます。ハンドオーバ機能は表 3-47 に示す Call Flow に則り、UE が通信中セル（Source g NB1）の電波が劣化（または弱くなる）すると、電波品質の良い別セル（Target g NB2）へ接続しなおしセッションを確立しハンドオーバ成立することを確認しました。

表 3-47 ハンドオーバーの Call Flow



STEP①	『Measurement Report』 UE は、サービングセルと隣接セルの信号強度を含む Measurement Report を Source gNB1 に送信します。
STEP②	『Connection Reconfiguration』 Source gNB1 は、RRC Reconfiguration を UE に送信します。
STEP③	『ReconfigurationComplete』 UE は Target gNB2 に RRC ReconfigurationComplete を送信します。

### 3.3.6.3 評価・検証項目

本実証において、以下の項目のハンドオーバー時によるハンドオーバー前、ハンドオフ時、ハンドオーバー後における受信信号及び伝送性能の推移を確認すると共に、ハンドオーバー時のセッション確立が行えているかの評価を実施しました。

表 3-48 評価・検証項目

項番	大項目	小項目
1	受信信号の推移	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ SS-RSRP</li> <li>・ SS-RSRQ</li> <li>・ SS-SNR</li> <li>・ MCS (PDSCH/PUSCH)</li> <li>・ BLER (PDSCH/PUSCH)</li> </ul>
2	伝送性能の推移	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 伝送スループット (UL/DL)</li> <li>・ 伝送遅延 (RTT)</li> </ul>
3	ハンドオフ時所要性能確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ SS-RSRP</li> <li>・ SS-RSRQ</li> <li>・ 伝送スループット (UL)</li> <li>・ 伝送遅延 (RTT)</li> </ul>

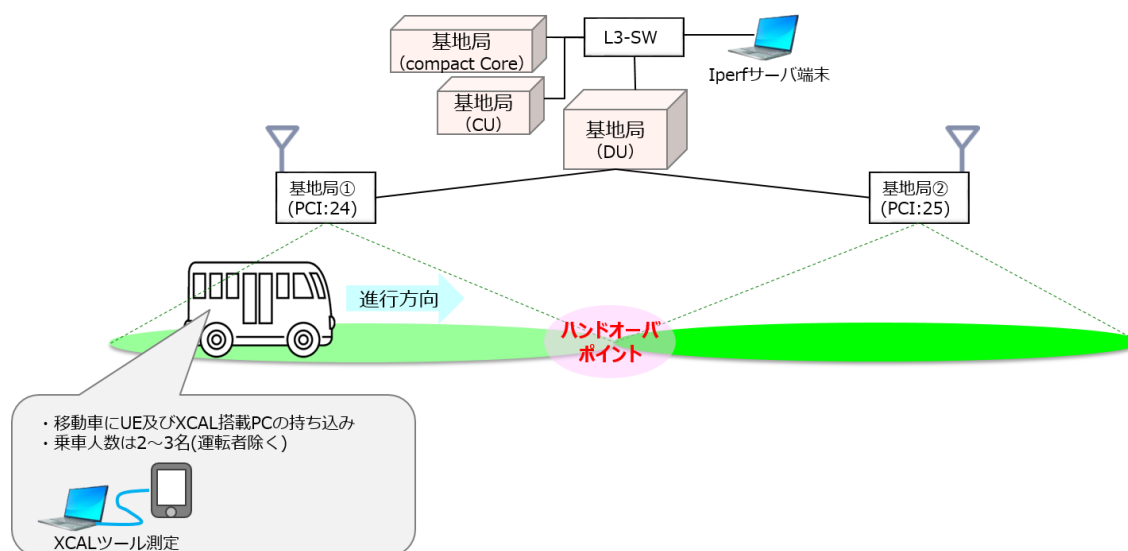
### 3.3.6.4 評価・検証方法

本実証において、ハンドオーバー時の通信性能の評価するため、図 3-76 に示す基地局① (Site 1) と基地局② (Site 2) 間にて車両へ UE と測定器を持ち込み、UE を移動させることによるハンドオーバーを発生させ、表 3-48 に示す各検証項目の測定を実施し、ハンドオーバー時の通信性能の評価を実施しました。

表 3-49 評価・検証方法

項番	大項目	小項目
1	受信信号の推移	無線 NW 測定ツールによる下記項目の確認 ・ SS-RSRP ・ SS-RSRQ ・ SS-SNR ・ MCS (PDSCH/PUSCH) ・ BLER (PDSCH/PUSCH)
2	伝送性能の推移	・ 測定ツール及び iperf による伝送スループットの確認 ・ Ping による伝送遅延 (RTT) の確認
3	所要性能の確認	上記測定結果のハンドオーバーポイントによる各値の確認

実証環境構成については、下記図 3-75 に示す構成としました。車両に UE、無線 NW 測定ツールを持ち込み、測定要員 2 名 (ツール操作者、タイムキーパー) によるドライブ測定を行いました。なお、車両の移動速度は、自動運転車両の想定速度と同じ約 15km/h で行いました。



## (1) 検証方法

検証方法については、以下に示します。またハンドオーバー試験について、図 3-76 に示す基地局① (PCI:24) と基地局② (PCI:25) の区間だけでなく、全走行エリアを2回ドライブ周回し往路 (PCI:24⇒PCI:25) と復路 (PCI:25⇒PCI:24) に各経路でのハンドオーバー前、ハンドオフポイント、ハンドオーバー後の測定結果を用いて、平均したものを測定結果として評価しました。

- ① ドライブ測定班と Iperf サーバ操作班に分かれ、ハンドオーバー測定試験に必要な API、準備を実施する。
- ② トラフィック試験機 (Iperf サーバ) 及び試験用 PC の時刻同期を確認する。

### 【往路 PCI:24⇒PCI:25 による測定試験】

- ③ ドライブ測定班の無線 NW 測定ツールを START させる。  
※この時車両は測定開始ポイント地点を通過する。
- ④ タイムキーパーにて 10 秒カウントする。
- ⑤ 10 秒後に、Iperf サーバ班よりトラフィック送信 (DL) を START させる。
- ⑥ ドライブ測定班にてトラフィック (DL) 受信確認を行い、無線 NW 測定ツールの各項目による測定数値の表示及び推移されていることを確認する。  
※この時、測定ツールにて UE が PCI:24 を補足していることを確認する。
- ⑦ ハンドオーバーポイント付近にて、目視による無線 NW 測定ツールにて補足していた PCI:24 が PCI:25 に切替わることを確認する。
- ⑧ 基地局②エリア内に移動し、測定終了ポイント地点を通過後にトラフィック試験機と無線 NW 測定ツールを停止し、測定ログを保存する。

### 【復路 PCI:25⇒PCI:24 による測定試験】

- ⑨ Iperf サーバ班へ連絡し、トラフィック試験機準備の連絡をする。
- ⑩ ドライブ測定班の無線 NW 測定ツールを START させる。  
※この時車両は測定開始ポイント地点付近を走行中。
- ⑪ タイムキーパーにて 10 秒カウントする。
- ⑫ 10 秒後に、Iperf サーバ班よりトラフィック送信 (DL) を START させる。
- ⑬ ドライブ測定班にてトラフィック (DL) 受信確認を行い、無線 NW 測定ツールの各項目による測定数値の表示及び推移されていることを確認する。  
※この時、測定ツールにて UE が PCI:25 を補足していることを確認する。
- ⑭ ハンドオーバーポイント付近にて、目視による無線 NW 測定ツールにて補足していた PCI:25 が PCI:24 に切替わることを確認する。
- ⑮ 基地局②エリア内に移動し、測定終了ポイント地点を通過後にトラフィック試験機と無線 NW 測定ツールを停止し、測定ログを保存する。

上記検証方法にて、下記表 3-50 に示すトラフィック種別の伝送スループット (DL/UL) 及び伝送遅延 (RTT) の測定を実施しました。

表 3-50 ハンドオーバー測定回数

測定種別	ハンドオーバー移動方向	ハンドオーバー移動方向	実施回数
UL スループット (TCP トラフィック)	往路経路 基地局① (PCI:24) ⇒ 基地局② (PCI:25)	復路経路 基地局② (PCI:25) ⇒ 基地局① (PCI:24)	2 回実施
DL スループット (TCP トラフィック)			
UL スループット (UDP トラフィック)			
DL スループット (UDP トラフィック)			
伝送遅延 (RTT) (Ping 試験)			

受信信号については、各種スループット測定時に無線 NW 測定ツールより取得しています。

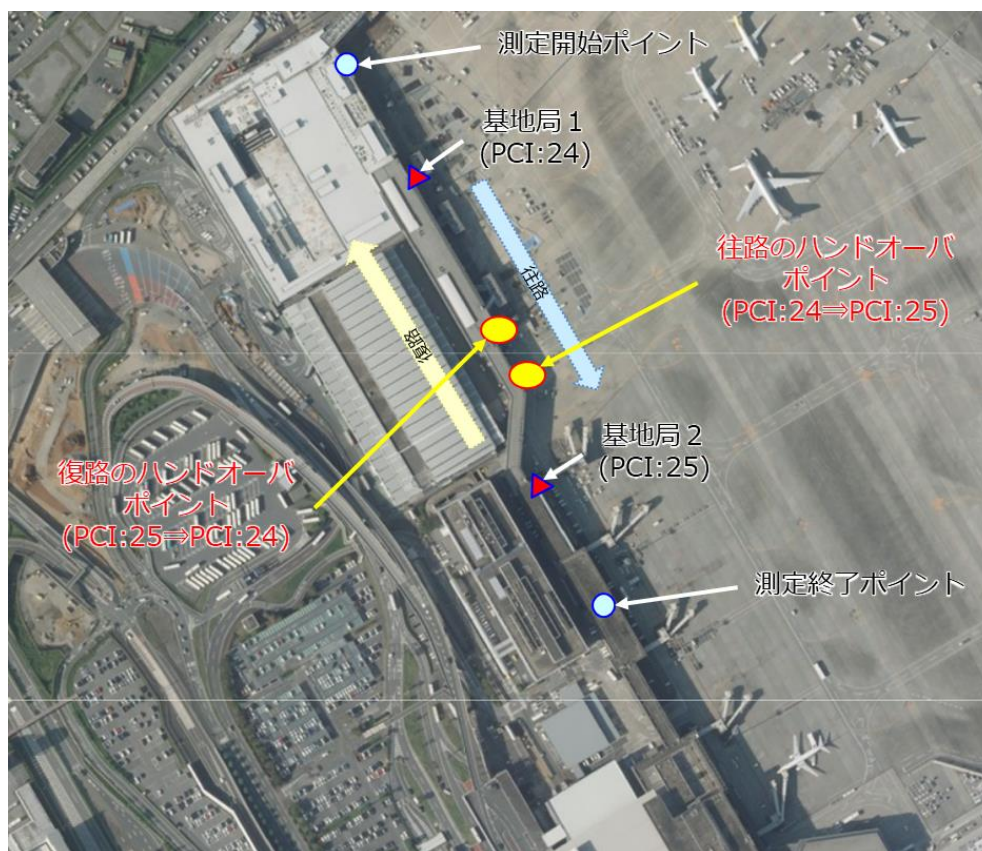


図 3-76 ハンドオーバーの測定環境と切替ポイント



### 3.3.6.5 実証結果及び考察

#### (1) 実証結果

ハンドオーバ測定時による SS-RSRP、SS-RSRQ、SS-SINR 及び MCS、BLER の時間推移をそれぞれ図 3-77～図 3-78 に示します。いずれの図においても測定開始ポイントからハンドオーバポイントを通り、測定終了ポイントにおける各測定数値と経過時間軸を表しています。また経過時間の「0」時点がハンドオーバポイントとなります。

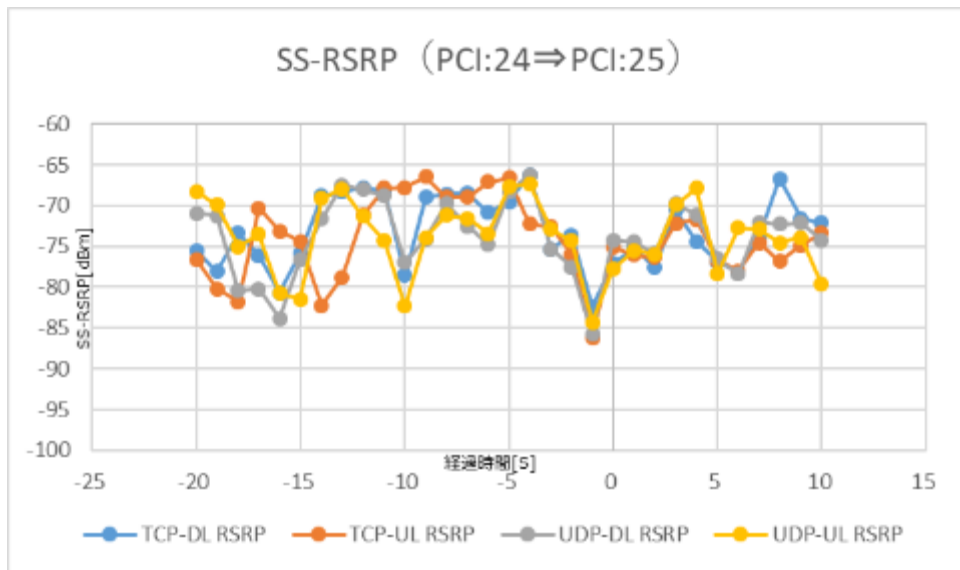


図 3-77 ハンドオーバ時の SS-RSRP の推移 (往路)

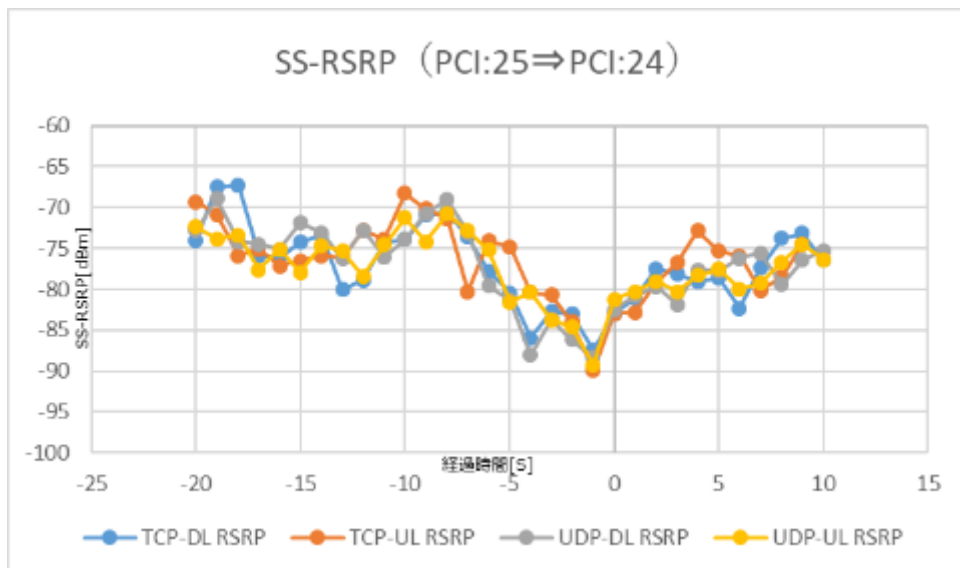


図 3-78 ハンドオーバ時の SS-RSRP の推移 (復路)

図 3-77 及び図 3-78 より、SS-RSRP はアンテナからの距離に応じ減少または増加しており、ハンドオーバ前に受信電力が低下 (劣化) し、数秒後にハンドオーバされていることが見て取れます。

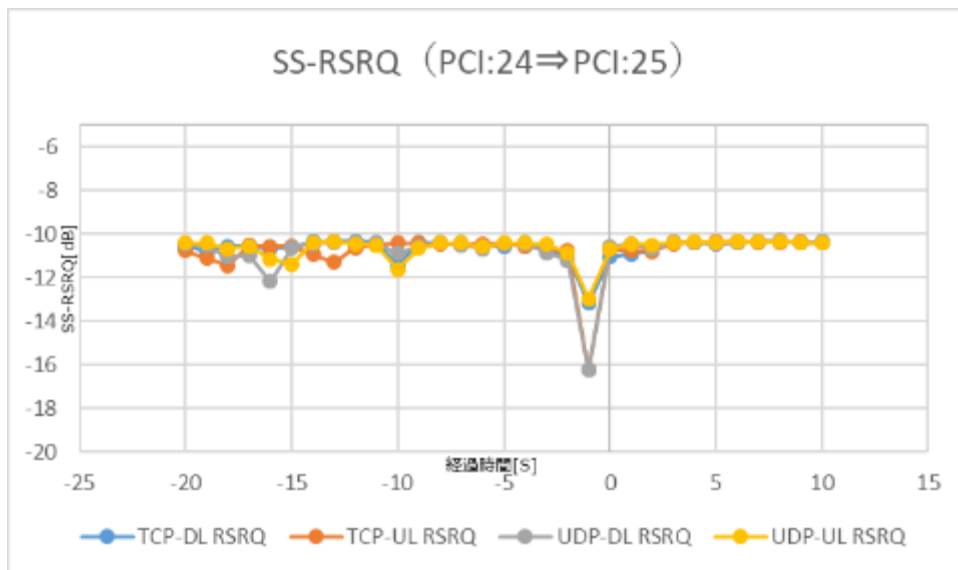


図 3-79 ハンドオーバー時の SS-RSRQ の推移 (往路)

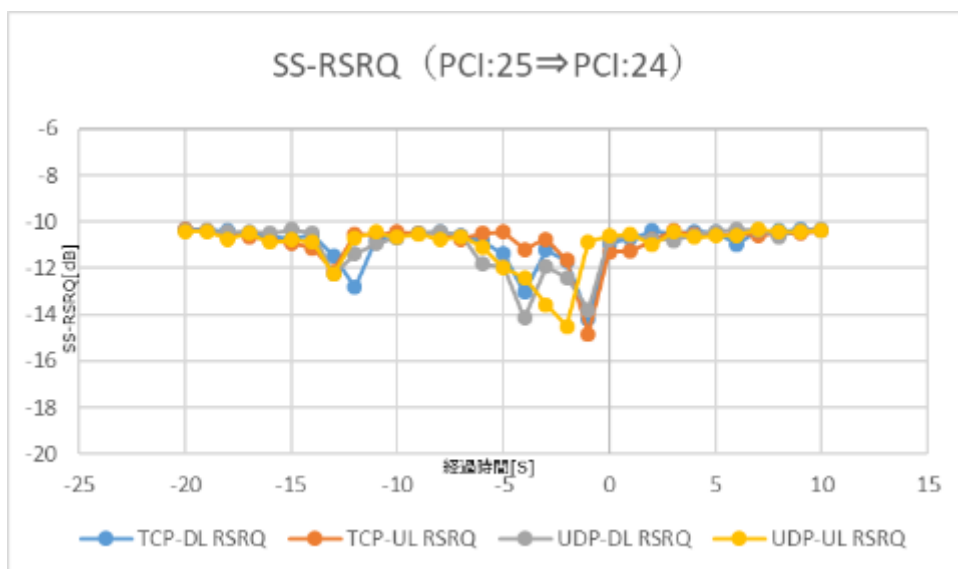


図 3-80 ハンドオーバー時の SS-RSRQ の推移 (復路)

図 3-79 及び図 3-80 より SS-RSRQ に関しては、ハンドオーバー直前に捕捉局の電波品質が低下 (劣化) すると共にハンドオーバー (接続先局) を実施し品質が正常値に戻り安定した通話品質が保たれています。

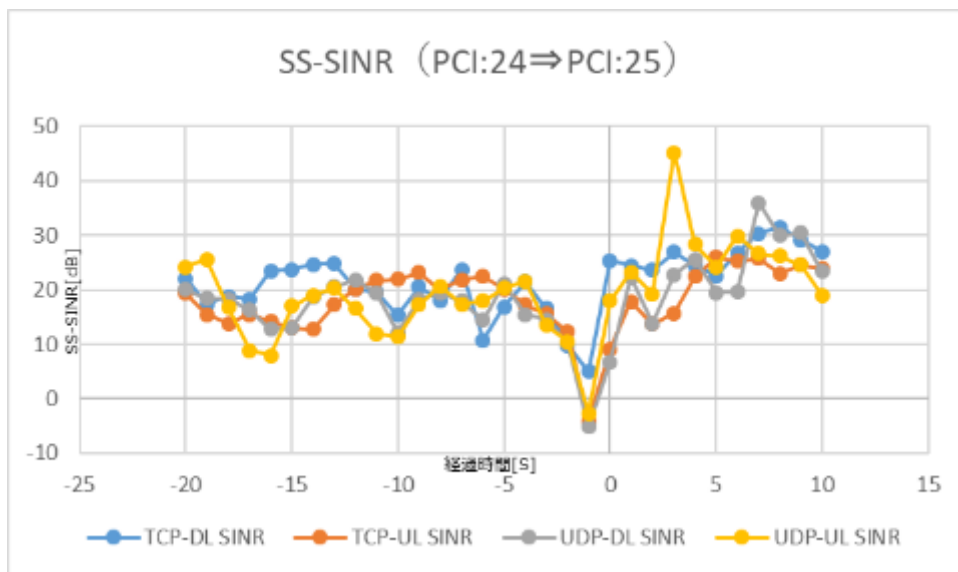


図 3-81 ハンドオーバー時の SS-SINR の推移 (往路)

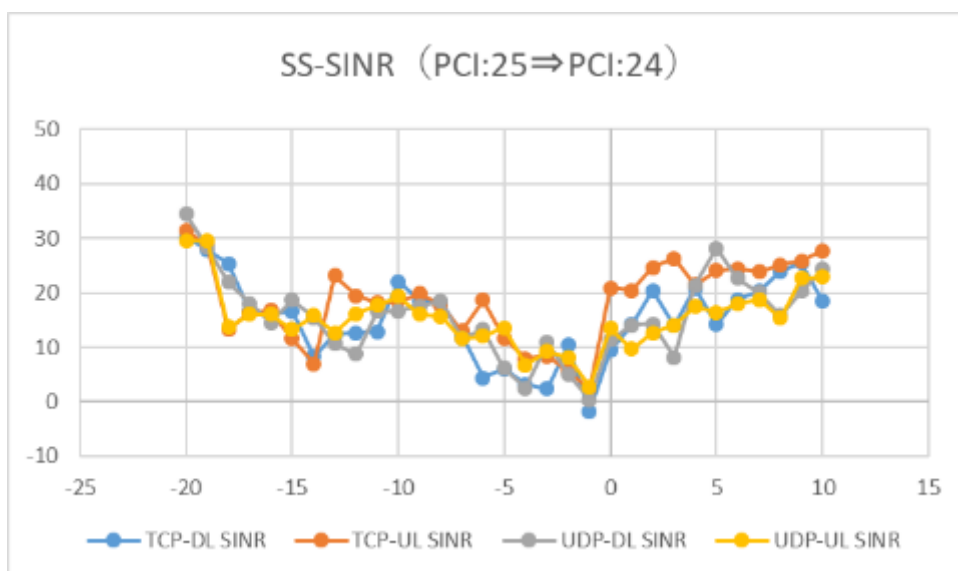


図 3-82 ハンドオーバー時の SS-SINR の推移 (復路)

図 3-81 及び図 3-82 より SS-SINR に関しては、0[dB]まで低下後の次のタイミングにてハンドオーバーを実施しているように見受けられる。また復路について、往路と比較すると全体的な数値が低い傾向、ハンドオーバー後は高い傾向が見られ、基地局②(PCI:25)⇒基地局①(PCI:24)へ移動したエリア端にて干渉が発生していると推測し、全体的数値のバラツキ・変動差があるように見受けられます。

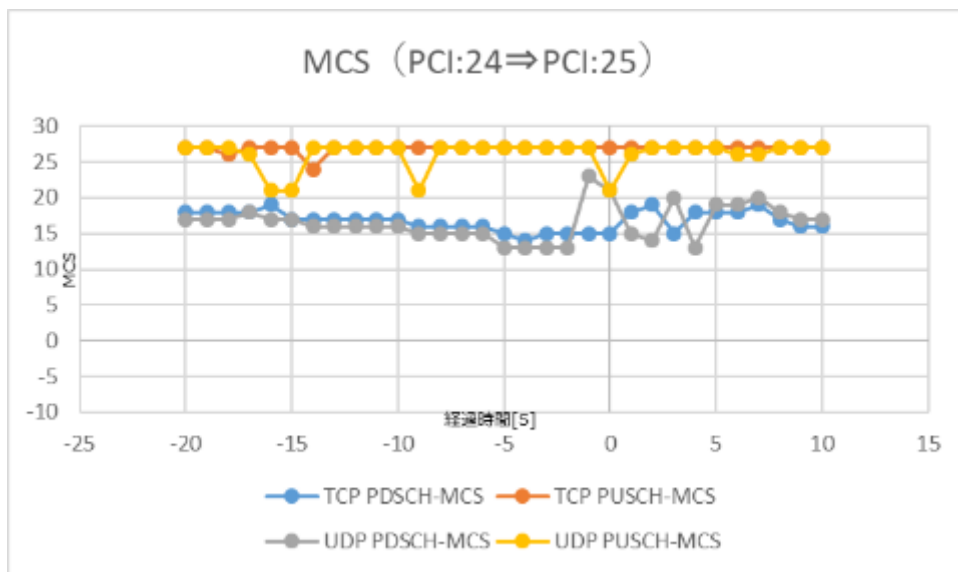


図 3-83 ハンドオーバー時の MCS の推移 (往路)

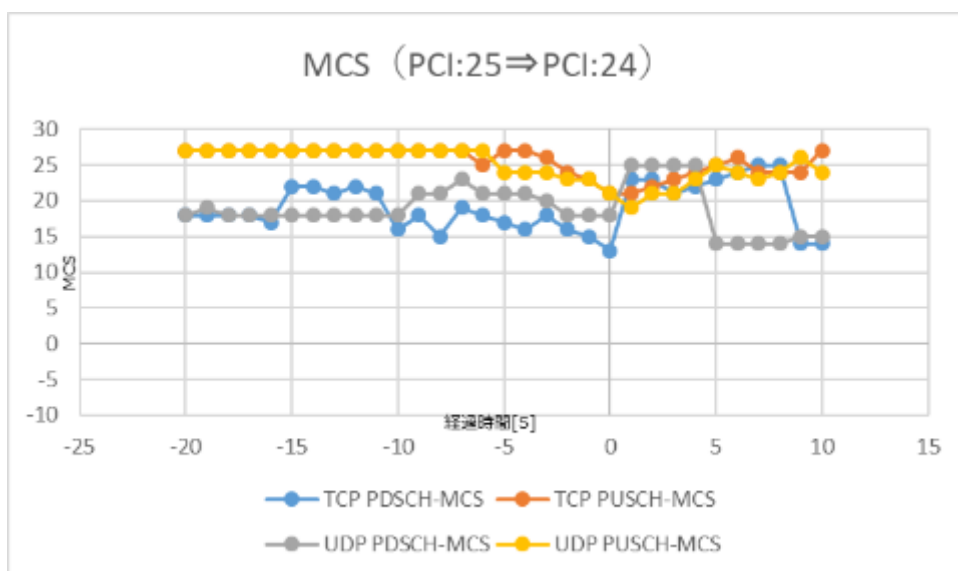


図 3-84 ハンドオーバー時の MCS の推移 (復路)

図 3-83 及び図 3-84 より MCS に関しては、PUSCH MCS の両トラフィックはほとんど横ばい (27) であるのに対し、PDSCH MCS は PUSCH MCS と比較すると多少の数値の変化はみられるが、大幅な数値の変化は見られない。復路のハンドオーバー時に数値が急激に減少している (劣化) 点については、RSRQ、SINR の劣化に影響されているものと推測します。

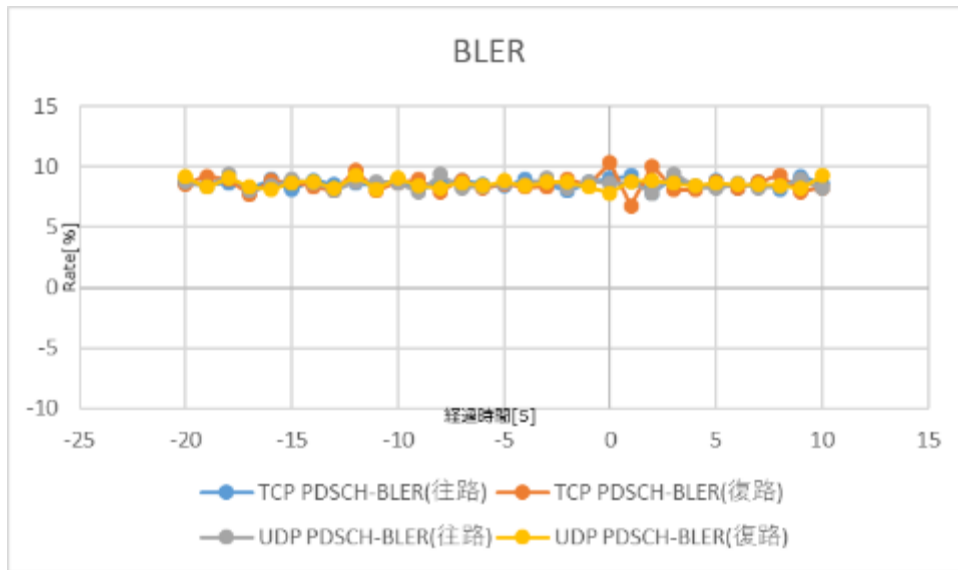


図 3-85 ハンドオーバー時の BLER の推移

図 3-85 より BLER に関しては、PDSCH BLER の両トラフィックによる数値は横ばいとなっており、MCS はハンドオーバー直前に劣化しているものの、BLER は 8~10% 付近を保っていることにより、UE 側での PDSCH 信号が劣化していると推測できます。

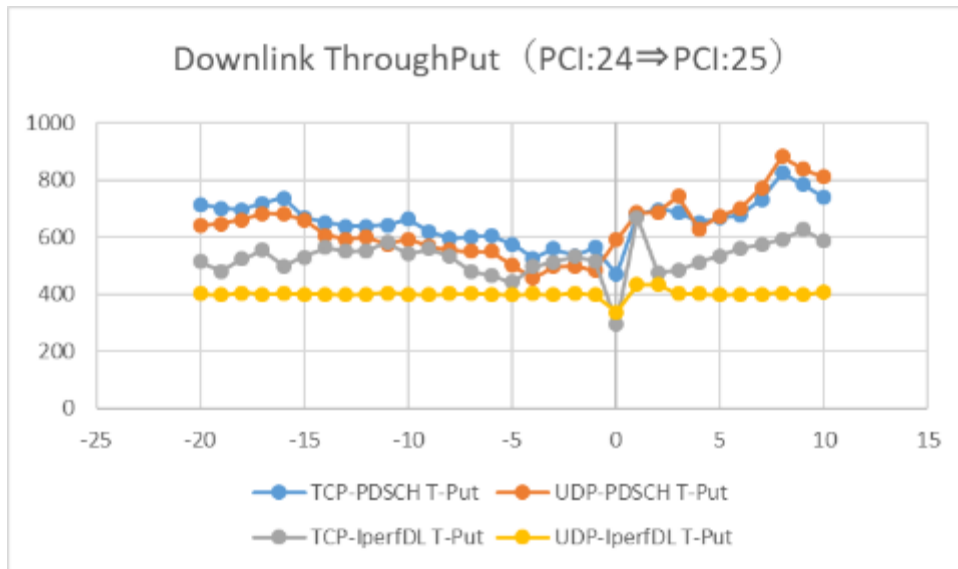


図 3-86 ハンドオーバー時の DL スループットの推移 (往路)

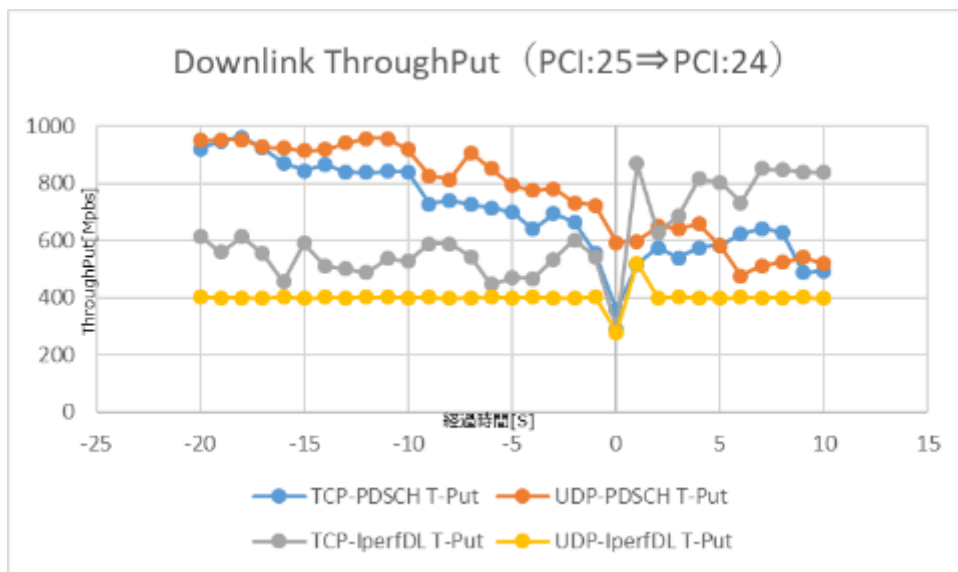


図 3-87 ハンドオーバー時の DL スループットの推移 (復路)

図 3-86 及び図 3-87 より DL スループットに関しては、流すトラフィックを TCP とする場合には 1[Gbps]、UDP とする場合には 400[Mbps] を印加して測定を実施しました。TCP 通信時はハンドオーバー時の低下は見られるものの、UDP 通信時の方が、落差が少ない推移となっています。

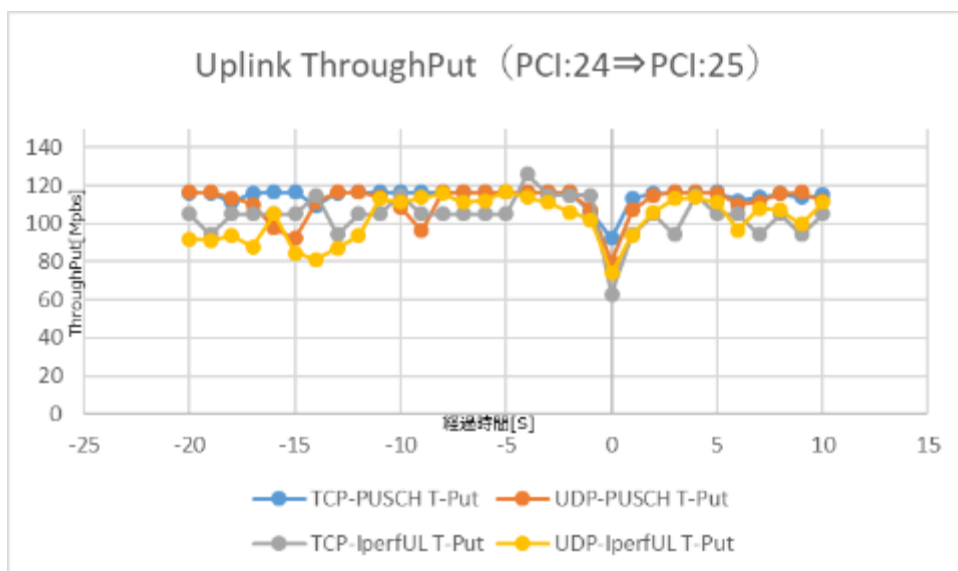


図 3-88 ハンドオーバー時の UL スループットの推移 (往路)

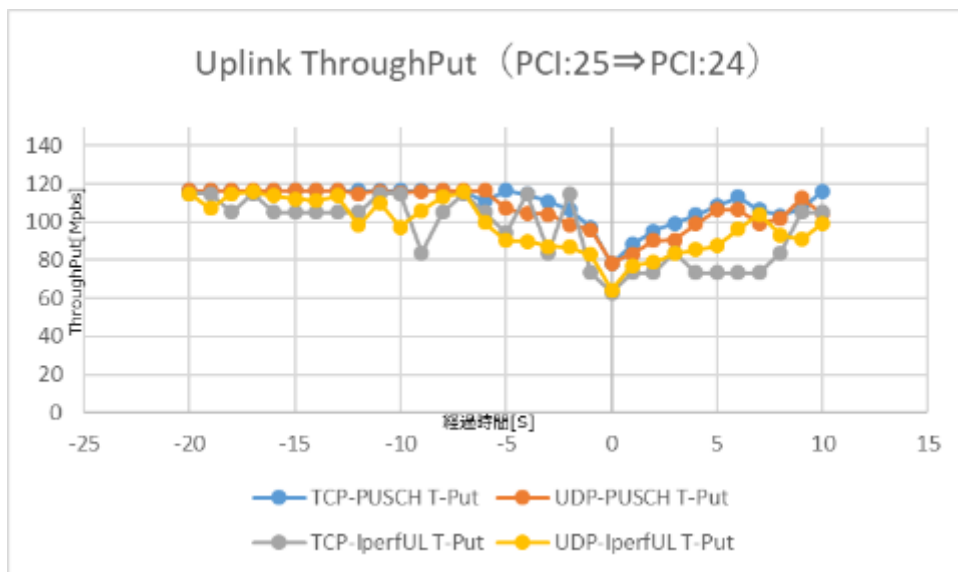


図 3-89 ハンドオーバー時の UL スループットの推移 (復路)

図 3-88 及び図 3-89 より UL スループットに関しては、DL 同様のトラフィックを印加し測定を実施しました。DL 同様にハンドオーバー時に一時的ながら低下していますが、その後 90 [Mbps] を上回る増加しています。自動運転車両での UL 映像送信の所要性能である 35 [Mbps] を満たしており、ハンドオーバー時においても 60 [Mbps] 以上を確保しており十分な性能が発揮できていることが分かりました。

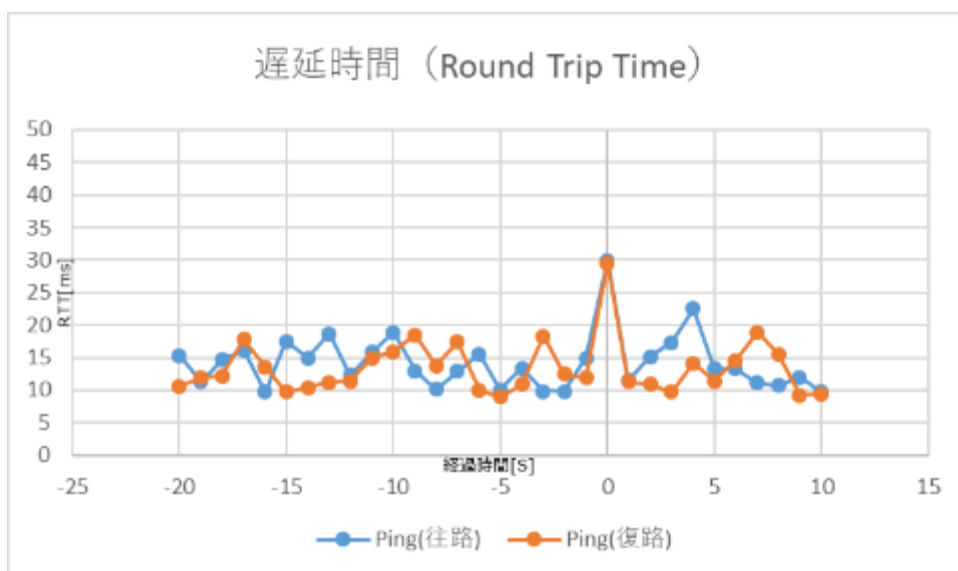


図 3-90 ハンドオーバー時の遅延時間 (RTT) の推移

図 3-90 より遅延時間 (RTT) に関しては、ハンドオーバー時に遅延が増加しているものの、最大遅延で 30 [ms] 以内、平均値で見ても 13 [ms] となり、所要性能を満たす低遅延化が可能となります。

## (2) 通信評価を踏まえた考察

本実証結果より、ハンドオーバー特性としてUEの通信中セル (Source g NB) の電波状況 (受信または品質) が劣化してくると、接続先セル (Target g NB) の電波状況を確認しセッション確立後にハンドオーバー処理を実施し、接続先セル (Target g NB) へハンドオーバーを実施することがわかりました。

本実証において複数基地局による走行エリアのカバレッジに伴い、設計時の各基地局エリア端による切替わる受信レベルと、ハンドオーバーによる切替わり遅延時間を考慮し、各エリア端の受信レベルを-85~-95[dBm]の間でハンドオーバーする設計としました。設計時のハンドオーバーポイントについて、図 3-91 に示すポイントを想定しました。

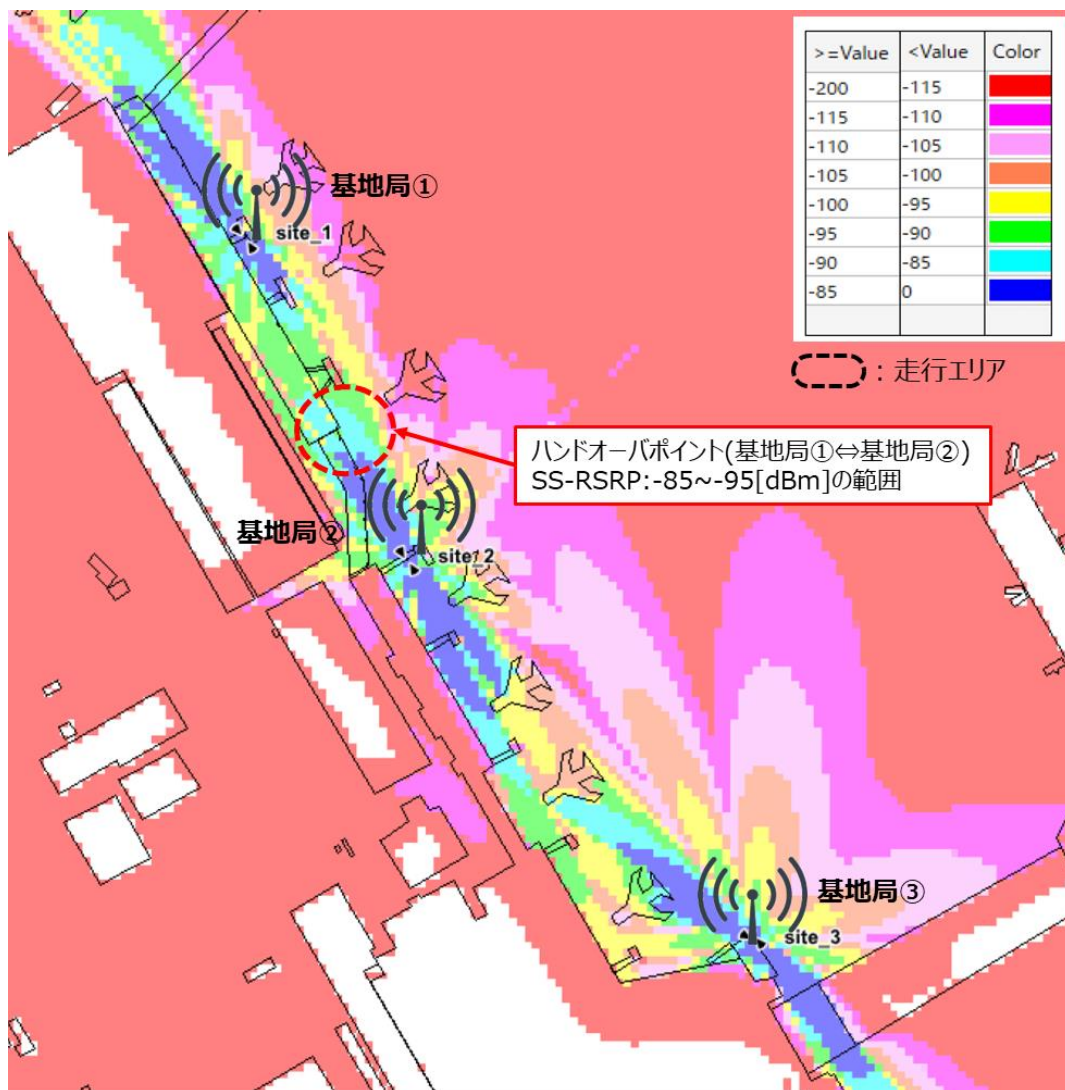


図 3-91 エリアシミュレーション結果からのハンドオーバー想定ポイント

図 3-77 及び図 3-78 の測定結果より、SS-RSRP が-85~-90[dBm]付近を下回るとハンドオーバーしていることより、エリア設計時のエリア端による受信レベルの値をパラメータへ反映させることより、ハンドオーバーの設計が可能となります。

また、基地局とUE間の距離に応じUE側での電波品質 (RSRQ, SINR) の劣化がトリガーと



なり、かつ自局の受信電力が弱くなるとハンドオーバを実施することも分かりました。基地局と UE の距離に関連した受信信号レベルの相関関係だけでなく、UE 側の電波品質劣化の影響による PDSCH-MCS 劣化においても、ハンドオーバとの関連性や影響があることも分かりました。

## 4. ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査（課題実証）

### 4.1 実証概要

遠隔監視型自動運転（自動走行レベル4相当）にむけて、ローカル5Gを用いた通信冗長設計による映像監視の実現を狙います。

完全自動運転に向けたステップとして遠隔監視を前提とした自動運転システムの社会実装が進んでいます。本事業では、ローカル5Gの通信安定性の特徴を活かし、遠隔監視要件の通信システム冗長系による映像監視タスクの簡素化と、遠隔監視でのオペレーションに必要な通信部分の技術要件明確化を行うことで、ローカル5Gを活用した、遠隔監視型自動運転の実証を行いました。自動運転の遠隔監視においては通信が必須であり常時接続により適時に各種確認や遠隔からの承認等が可能になることにより、自動運転の安全性担保されます。したがって、通信の冗長系構成により安全性担保の実効性向上が期待されます。

### 4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

#### 4.2.1 背景、課題及び実装シナリオ

本件実施内容に係る背景及び課題、実装シナリオを説明します。

少子高齢化により、労働人口減少が本格化する中で、バス・トラックなどの運行台数に対し、各産業で要するドライバが生産年齢人口の減少、厳しい労務環境、労務単価の上昇により確保しがたくなってきています。例えば、国際空港であれば早朝から夜間まで現地在住の連絡バス及びトーイングトラクタのドライバを、航空機の発着枠に応じて柔軟に確保する必要があるが、需要の先読みが難しい中で、安定した受け入れ態勢を確保しがたい状況が続いていくことが予想されます。

成田国際空港をはじめ各空港において、アフターコロナのインバウンド等の需要増加について予測するとドライバの確保が必要不可欠です。

また他業種においても、工場や物流、農業など広大な敷地を有し、人やモノを短距離でも移動させるため、モビリティに頼らざる得ない地域産業におけるドライバ等の担い手の確保は当該産業を維持し、人々にとって不可欠なサービス・商品を提供する上で欠かすことができません。

半面、自動運転技術の適用において、他車両や歩行者、特殊車両、航空機等が混在する環境下で、自動運転車のみでは一気通貫での対応が困難な場合（事故時における駆けつけ対応等）があり運行管理者による遠隔監視が求められています。

上述の課題と課題解決の方向性、および本実証との関連をイシューツリーに示します。

図 4-1 課題実証の取り組みの3実証要素の詳細については、主に4.4章に記します。本計画書書式に合わせて、実証1は主に4.4.1.3章運用検証及び4.4.2章（実装性）～4.4.4章（継続利用の見通し・実装計画）、実証2は主に4.4.1.1章効果検証、実証3は主に4.4.1.2章機能検証及び4.4.5章ローカル5G及びキャリア通信の冗長化（追加提案）にて示します。

空港における航空イノベーションに基づく機能強化

- ・ より早くより快適なトラベル体験の創出
- ・ 日本の玄関口での最先端テクノロジー展開
- ・ 新しいサービスの定着と他の閉鎖空間領域への横展開

>

モビリティ自動化による新たな移動の在り方と働き方の創出  
(運営側と利用側双方におけるクオリティ向上)

現状の課題	課題解決の方向性	実証内容
<p>1 アフターコロナを見据えた空港需要の増加に対してグラウンドハンドリング人材が不足</p>	<p>モビリティ自動化による人材不足解消</p>	<p><b>実証1</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 空港制限区域内における多種の車両のモデルケースとして、空港ターミナル間自動運転連絡バスの運用模擬試験の実施および運航効率評価</li> </ul>
<p>2 グラウンドハンドリングの低稼働率</p>	<p>自動化による人に依存しない柔軟な対応による高稼働率達成</p>	<p><b>実証2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ L5G・C5Gを利用した遠隔システムからの安全確認・操作評価</li> </ul>
<p>3 グラウンドハンドリング関連の労働環境が過酷</p>	<p>遠隔監視による快適な環境における就労環境提供</p>	<p><b>実証3</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ L5Gで遠隔監視を実施した際の映像品質評価</li> <li>✓ L5GとC5Gの切り替え試験による通信品質評価</li> <li>✓ L5Gの映像遅延・フレームレート評価</li> </ul>
<p>4 自動運転遠隔監視にて通信品質確保が困難</p>	<p>ローカル5Gを公衆とシェアしない自動運転専用帯域として利用することによる通信品質確保</p>	
<p>5 自動運転遠隔監視にて安定的な通信確保が困難</p>	<p>ローカル5Gをキャリア通信の冗長構成による安定的な通信確保</p>	

図 4-1 課題実証の取り組み

# 成田国際空港が抱える課題と実証内容の関係性

空港における航空インノベーションに基づく機能強化

- より早くより快適なトラベル体験の創出
- 日本の玄関口での最先端テクノロジー展開
- 新しいサービスの定着と他への横展開

モビリティ自動化による  
新たな移動の在り方と働き方の創出  
(運営側と利用側双方におけるクオリティ向上)

人や物を運搬できる態勢を安定して確保したいが、グランドハンドリング業界において、人手不足が深刻化  
→2025年の空港内における自動運転レベル4相当の導入目標でインフラ整備、運用ルールの見直しを検討

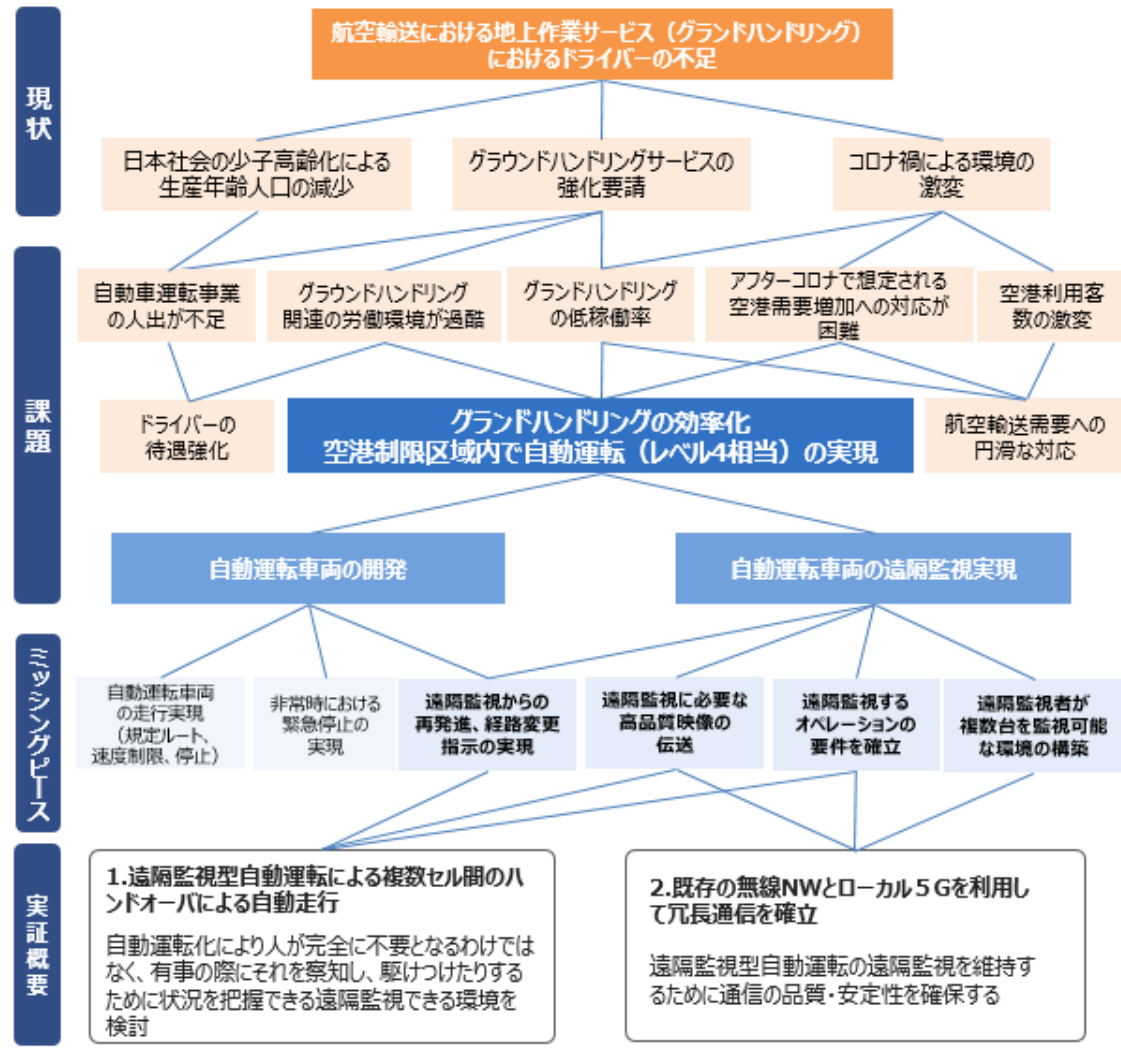


図 4-2 イシューツリー（詳細）

#### 4.2.1.1 少子高齢化による労働人口減少の本格化

内閣府によると、2010年頃から日本の人口は減少局面に入っており、特に労働生産人口（15-64歳）については、2010年には8103万人だったところ、2030年には7000万人を、2040年には6000万人をそれぞれ切る水準まで減少することが見込まれています。

このことは、あらゆる産業における労働力不足に繋がると考えられますが、サービスレベルや国際競争力の維持のためにも、各産業において生産性の向上を図る必要があります。

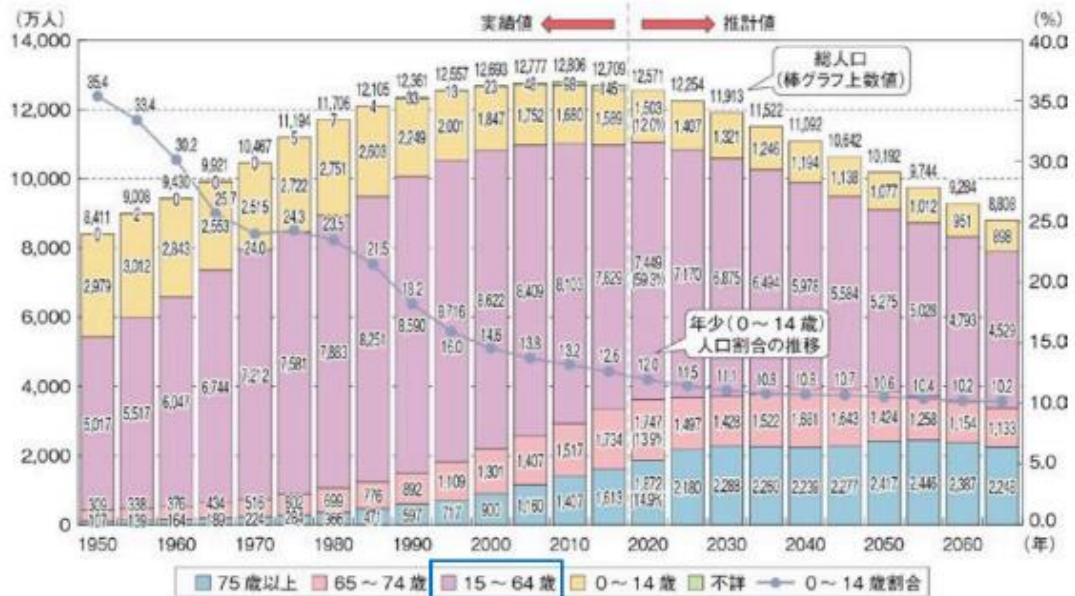


図 4-3 我が国の生産人口の推移（出典：内閣府「令和3年版少子化社会対策白書」）

<https://www8.cao.go.jp/shoushi/shoushika/whitepaper/measures/w-2021/r03pdfgaiyoh/pdf/03gaiyoh.pdf>

#### 4.2.1.2 バス・トラックなどのドライバが不足

例えば、乗合バスの運転者は昭和50年以降、長期的に減少しており、平成23年にはピーク時の25%減となっており、その後も横ばいとなっています(2018年度版 日本バス協会「日本のバス事業」)。

また、自動車運転事業の運転業務に係る有効求人倍率をみると、全職業平均の2倍となっており、全国的に、求人に対して、ドライバの担い手が不足している現状が顕著となっています。

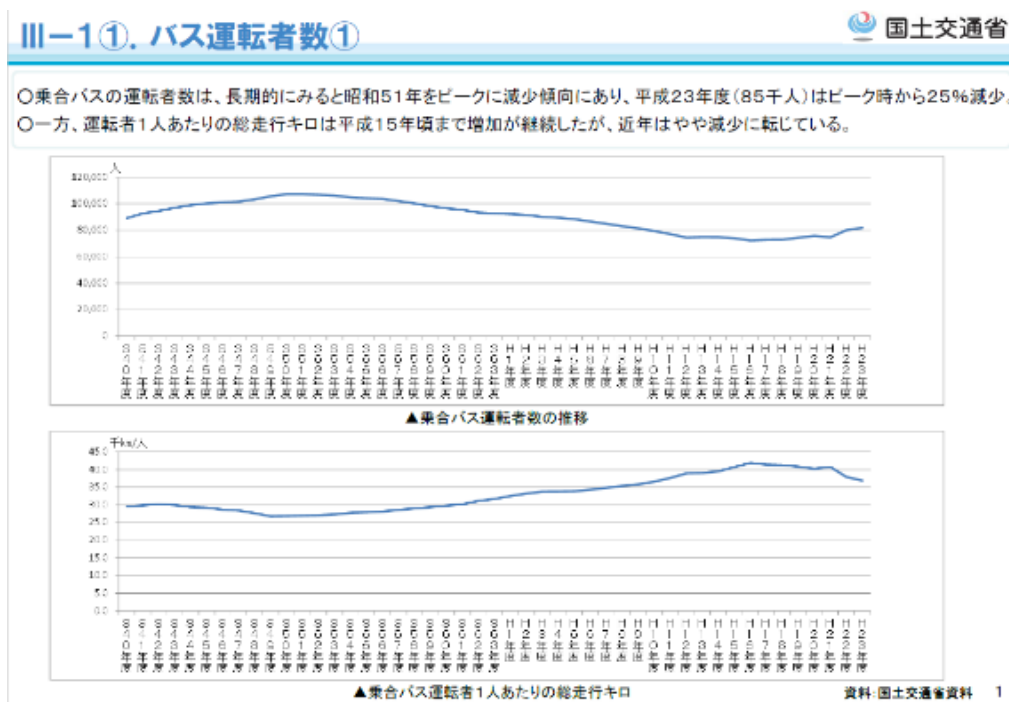


図 4-4 (出展)バス運転者を巡る現状について(国土交通省 平成26年4月25日)  
<https://www.mlit.go.jp/common/001038072.pdf>

## 自動車運転事業の人手不足

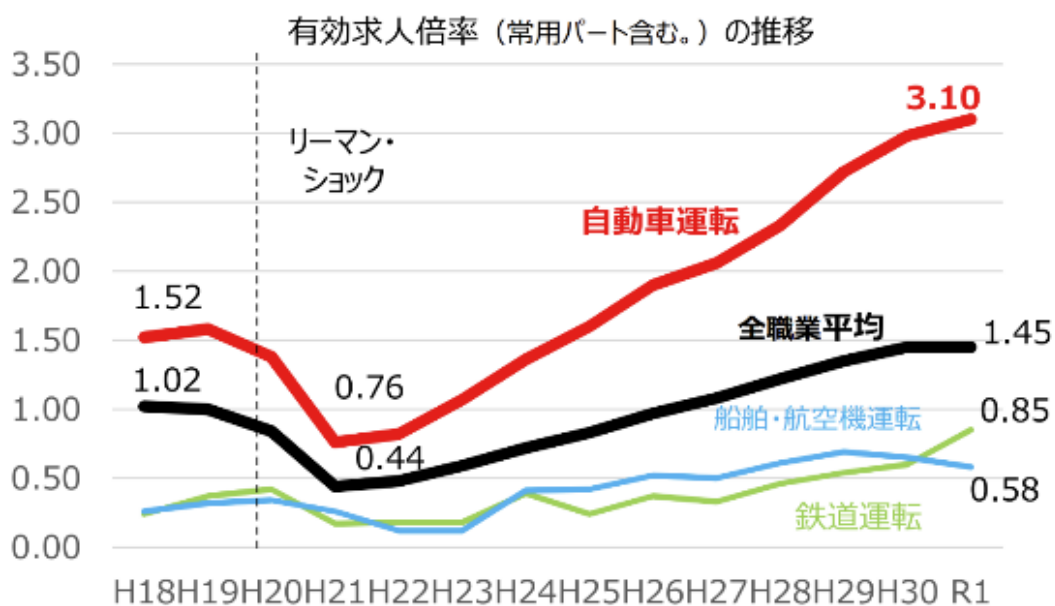


図 4-5 国土交通省「改正地域公共交通活性化再生法の制度と運用について」  
<https://web.pref.hyogo.lg.jp/ks05/documents/siryoul.pdf>

#### 4.2.1.3 空港における人材不足

国際空港であれば早朝から夜間まで現地在住の連絡バス及びトーイングトラクタのドライバを、航空機の発着枠に応じて柔軟に確保する必要がありますが、需要の先読みが難しい中で、安定した受け入れ態勢を確保しがたい状況が続いていくことが予想されます。また、厳しい労務環境も人材不足の要因の一つとなっています。成田国際空港はじめ各空港において、アフターコロナのインバウンド等の需要増加について予測するとドライバの確保が必要不可欠です。

なお、このようなグランドハンドリング等における人材不足を踏まえ、国土交通省は2020年1月に「グランドハンドリング アクションプラン」をとりまとめ、自動運転ランプバス等を含めた先進機器の導入による生産性の向上が必要であると提言しています。

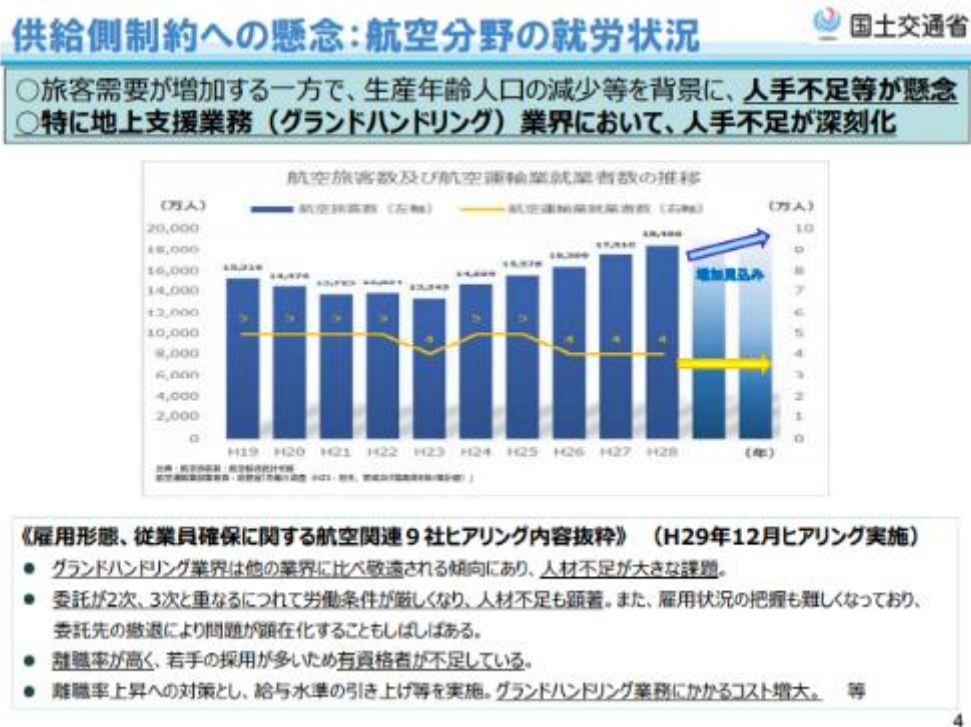


図 4-6(出展) 第1回国土交通省航空局「空港制限区域内の自動走行に係る実証実験検討委員会」(平成30年6月22日)

<https://www.mlit.go.jp/common/001240284.pdf>



#### 4.2.1.4 他業種における人材の確保

工場や物流施設、農業など広大な敷地を有し、人やモノを短距離でも移動させるため、モビリティに頼らざるを得ない産業の施設におけるドライバの確保は製造物流ラインの効率化に欠かすことができませんが、生産年齢人口の減少とともにこの確保は困難となっており、省人化等の生産性の向上の必要性が求められています。一方で、どれだけ省人化を行ったとしても、人手が完全に不要になるわけではなく、事故や異常がないかを確認するため、遠隔地からの工程監視等が必要になります。この監視には安定し、遅延の少ない通信が必要であり、多数の車両を同時に監視する場合においては通信容量の確保も必要です。このような観点からこれらの他産業の環境は、空港における課題と共通の課題を持つ面があり、本実証で得られた成果は、広大私有地でのモビリティの自動化についても横展開することができます。

#### 4.2.1.5 課題解決策

成田国際空港は、COVID-19 流行以前は年間 4000 万人が利用する空港であり、COVID-19 流行収束の後、今後さらなる航空需要の増加に備えるため機能強化を実施することとしています。上記のとおり空港のターミナル間の連絡バス等のドライバを確保することは航空需要を支える重要な課題となりますが、そのことが持続的には困難となっていく可能性を踏まえると、自動運転車の導入による省人化は目指すべき一つの方向性を言えます。

ただし、自動運転化により人が完全に不要となるわけではなく、有事の際にそれを察知し、駆けつけたりするために状況を把握できる遠隔監視者が必要となります。しかしながら、複数車両に対してそれよりも少ない人数での遠隔監視を行うことができれば、省人化につながることであります。

航空機や様々な専用車両が行き交い、航空機の定時性が非常に重要な空港というインフラにおいて、遠隔監視型の自動運転車を運用する上では遠隔監視の通信品質・安定性を確保する必要性が非常に高いです。

自動運転車両の遠隔監視・運航管理専用帯域を確保するとともに、冗長性を確保する必要があります。車両システム・乗客の状態を見守る上で通信は常に接続されていることをより確実にします。ローカル 5 G を導入により通信のパフォーマンスが向上しますが、無線を用いる為、各種遮蔽物の影響や、公衆網での多くの一般ユーザによる通信帯域利用による影響等を受ける可能性があり、自動運転の走行中、常に安定した接続が担保される保証はありません。ローカル 5 G の通信が不安定/断絶した場合にキャリア通信への切り替えが必要になります。

そこでローカル 5 G、キャリア通信の切り替え、協調に焦点を当て実証も行いました。例えば、ある 1 つの基地局が機能失陥したケースにおいて、冗長系を用い同一エリアで動作しているキャリア通信網でサービスを継続することを想定し、実機評価を行いました。

##### (1) 自動運転における遠隔監視の必要性

自動運転技術の適用において、他車両や歩行者、特殊車両、航空機等が混在する環境下で、自動運転車のみでは一気通貫での対応が困難な場合（事故時における駆けつけ対応等）があり、運行管理者による遠隔監視が求められています。

## (2) ローカル5Gの必然性

空港という専用区域内における将来のレベル4相当を目指した遠隔自動運転の実現に向けて、ローカル5Gの特徴である利用者を限定し安定した通信を確保することが重要な要件となります。ローカル5Gは、敷地内走行経路に沿ってエリア化することができ、キャリア網と異なり利用者を限定し、同一周波数を用いて遠隔監視を行うことで、高速広帯域な高品質の通信をいつでも確保することができます。このため、旅客や他の空港利用事業者の無線通信の利用影響を受けず、運行管理者による遠隔監視の継続することを可能とします。なお、満たすべきローカル5G仕様・ソリューションで本実証にて実施することは、3章技術実証を参照ください（空港内走行経路において遮蔽物等があっても通信できること、空港内他の無線システムで影響がないこと、複数の基地局等で構成した場合でも通信継続できること）。

## (3) 実証を通じ明らかになることを踏まえた発展・拡張シナリオ

成田国際空港では自動化・省力化のために自動技術の活用を調査しており、そのインフラとしてローカル5Gの活用を調査しました。そのため、実装にあたっては自動運転技術の十分な実装への検証を行ったうえで、その要素技術である遠隔監視の活用可能性に向け、ローカル5Gの有効性を確認しました。具体的な項目は以下の通りです。

### ・中長期的な方向性

空港内の多くの車両が自動運転化・EV車両化による省人化・省力化が可能となり、人的要因による事故が抑止され、安定的な運用ができている状態を目指します。具体的には、複数台の遠隔監視型の自動運転車両を導入した場合にも車内外の状況を適時適切に把握し、遠隔からの見守り・サポートによる事故の抑止・事故時対応や、これらの結果としての定時性の確保や省人化等による事業性の向上等の確保を目指します。

## 4.2.2 実証目標

最初のステップとして本実証では、連絡バスの自動走行レベル4相当の走行の実現に向けて、その要素技術であるローカル5Gの空港内実装と遠隔監視の有効性を検証しました。

「官民ITS構想・ロードマップ」（2021年6月15日高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議）において、自動走行レベル3はシステムがすべての動的タスクを限定領域において実行しますが、作業継続が困難な場合にはシステムの介入要求等に運転者が適切に応答し、引き継ぐものとされています。一方、自動走行レベル4相当はシステムがすべての動的タスクを限定領域において実行し、作業継続が困難な場合への応答もシステムが行うこととされています。すなわち、自動走行レベル3相当においては、システム以外に自然人たる運転者による介入が一定の場合を前提とされているのに対し、自動走行レベル4相当においては運転者の介入が前提とされておらず、限定領域においてはシステムがすべての運転タスクを実施するものです。もっとも、運転者の必要性はなくとも、サービスとして提供する以上は運行状況をモニタリングし、必要に応じて人間が現場に駆けつけることができるようにする必要があり、遠隔監視の必要性があります。

したがって、本実証においては、運行状況のモニタリングを限定領域内に敷設したロー

カル5 Gを介した遠隔監視映像の伝送を実現し、自動走行中において遠隔監視者が自車両の走行位置と、経路に沿った走行していることを確認するための道路標示と路側構造物、空港内交通状況に応じ自動走行していることを確認するための周囲車両・歩行者について、視認できることを目標としました。この結果、2022年2月迄に成田国際空港内の走行エリア700m区間、車速15km/h以下（本実証ルートにおける制限速度）における自動走行レベル4相当の自動走行実験を実施し、完了しました。

表4: 運転自動化レベルの定義、対応する車両の呼称

レベル	概要	操縦 <sup>※</sup> の主体	対応する車両の呼称
運転者が一部又は全ての動的運転タスクを実行			
レベル0	<ul style="list-style-type: none"> <li>運転者が全ての動的運転タスクを実行</li> </ul>	運転者	—
レベル1	<ul style="list-style-type: none"> <li>システムが縦方向又は横方向のいずれかの車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行</li> </ul>	運転者	運転支援車
レベル2	<ul style="list-style-type: none"> <li>システムが縦方向及び横方向両方の車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行</li> </ul>	運転者	
自動運転システムが(作動時は)全ての動的運転タスクを実行			
レベル3	<ul style="list-style-type: none"> <li>システムが全ての動的運転タスクを限定領域において実行</li> <li>作動継続が困難な場合は、システムの介入要求等に適切に応答</li> </ul>	システム (作動継続が困難な場合は運転者)	条件付 自動運転車 (限定領域)
レベル4	<ul style="list-style-type: none"> <li>システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を限定領域において実行</li> </ul>	システム	自動運転車 (限定領域)
レベル5	<ul style="list-style-type: none"> <li>システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を無制限に(すなわち、限定領域内ではない)実行</li> </ul>	システム	完全自動運転車

※ 認知、予測、判断及び操作の行為を行うこと

図 4-7 官民 ITS 構想・ロードマップにおける自動運転レベルの定義

#### 4.2.2.1 実現時期の想定

- 2021年度（本実証の報告）  
連絡バスの自動走行レベル4相当に向けた走行における遠隔監視の実証
- 2022年度（案）  
連絡バスの自動走行レベル4相当での走行における遠隔監視の実証、自動走行レベル3相当での走行における遠隔監視の活用
- 2023年度～（案）  
空港内での自動走行エリアの拡大、空港内の他車両での自動走行の展開

※2022年度以降は、本実証の検証結果、関係省庁と調整等を踏まえて推進します。

#### 普及・展開方策

本事象：ローカル5Gを活用し、空港内自動車走行レベル4相当に必要な要素技術実証を自動走行レベル3相当実験車を用い行う  
→空港内自動運転に係るガイドライン、成田国際空港内自動運転ルール策定に資する実証成果の導出を狙う



開発スケジュール	21年度（本実証）	22年度計画構想（現時点案）
自動走行レベル (国交省航空局基準・官民ITSRMに準ずる)	レベル3相当（※同乗ドライバーによる常時監視）	レベル4相当（※ドライバー不要 遠隔監視のみ想定、国交省航空局により今後定義される想定）
自動運転 バス車両開発 (課題実証)	車両準備 → データ収集 → 制御実験@空港 事前テスト (ローカル5G)	遠隔監視シナリオ実験 → 制御実験@空港
要素技術開発 (課題実証)	ローカル5G/キャリア5G・LTE冗長系による遠隔監視用映像の伝送 ・自動運転レベル3相当 Safetyドライバーあり ・冗長系無線システム構築 ・遠隔監視実装、走行評価	自動運転レベル4相当 監視タスク最適化 ・自動運転レベル4相当の車両実装 ・冗長系無線システム最適化 ・遠隔監視タスク最適化、評価 等
ローカル5G通信 (技術実証)	空港におけるレベル4相当走行に必要なローカル5G構築手法確立 ・移動物による遮蔽（航空機・他車両など） ・電波被干渉影響 ・走行中ハンドオーバー	自動運転レベル4相当 走行評価 ○レベル4相当対応 ・移動物による遮蔽シーン ・電波被干渉シーン ・走行中ハンドオーバー ○横展開向け実証 等

図 4-8 実現時期想定

## 4.3 実証環境

### 4.3.1 成田国際空港概要

本実証における実証フィールドは以下の通りです。

成田国際空港では、広大な敷地に3つのターミナルを有しており、お客様が成田国際空港に到着後に異なるターミナルの別便に乗り継ぐ場合、徒歩での移動は大変難しいことから、ターミナル間移動を伴う乗継便をご利用されるお客様のための連絡バスを定期運航しており、自動運転技術導入において本連絡バスに着目しました。

我が国には100近い空港が存在しますが、これらは空港法（昭和31年法律第80号）や航空法（昭和27年法律第231号）という空港運営の基本法を通じて統一的な規制が敷かれており、制限区域内における運用については空港の規模の違いはあっても、その業態・運用実務に大差はなく、走行環境は共通する部分が多いです。自動走行に係る共通ルールについても、国土交通省航空局主催「空港制限区域における自動走行の実現に向けた検討会」において策定しており、また、空港が抱える4.2.3章に記載した課題についても共通していることから、成田国際空港における実証実験・実装の結果は他空港への展開に当たっては十分に参考とすることができるものと考えられます。

とりわけ、多くの旅客等が利用する大規模空港においては、自動運転車両が増えるにつれ専用帯域の確保が重要な課題となるとの仮説のもと、ローカル5Gを活用したモデルが展開できるのではないかと考えます。

このため、まずは我が国最大の空港の一つである成田国際空港において実証実験を行うことで、他空港に展開する際にも共通するであろう課題を抽出することもでき、展開性を高めることができると考えます。

- ・開港：1978年5月20日
- ・施設レイアウト
  - 滑走路2本（4,000m、2500m）
  - 第1・2・3ターミナル
  - 貨物地区
  - 整備地区
  - ビジネスジェット専用ターミナル
  - 面積1,198ha
- ・アクセス
  - 都心から約57km（直線）
  - 京成スカイライナー
  - 成田エクスプレス（JR）
  - リムジンバス
  - エアポートバス東京・成田

#### 4.3.2 自動運転車両の走行エリア

以下の MAP (2021 年 6 月 28 日時点の Google Earth 上の MAP を加工したもの) の通り (赤枠内) で、実施しました。第 2 ターミナル 70 番ゲート～第 3 ターミナル連絡バス到着場所間で行いました。



図 4-9 走行ルートと昇降場所



図 4-10 現在運用中のターミナル連絡バス

今回実施した実験エリアの特徴として、バス昇降場所はターミナルの下に経路が潜り込むような場所にあり、またターミナル施設に隣接して停車することから適切な監視を行わないと昇降に弊害が出る可能性があります。また、乗り継ぎで利用するお客様のためのバスであるため、安定運航ができないと乗り継ぎ便への搭乗が遅れてしまい、多大な影響が発生します。さらに、一般的な公道にはない様々な特殊車両や航空機が走行エリア及びその周辺にて走行、駐停車しており、適切な遠隔監視を行わないと安定走行に支障が出る可能性があります。加えて、本走行エリアの特性は成田国際空港内の他エリアや他の空港においても類似性があることから、本実証の知見はこれらへの適用可能性あるエリアを選定しました。

空港制限区域内の運転ルールに則ることは当然のこととして、今般の実証実験のルートは特別複雑なものではないですが、多くの特殊車両、バス、作業員等が混在することから、これらと進路が交差等する場合における適切な対応が必要となりました。空港管理者である成田国際空港株式会社との間では、空港の円滑な運用を妨げないよう、運用ルールを綿密に設定する必要があります。

また、道路上に路駐車や障害物が存在することは基本的に想定されないものの、万が一走路に障害物が出ているようなケースにおいて、これを回避して走行を続けてよいか否かの判断をシステムが遠隔監視者に確認するといった場面は有り得るため、そのような

場合には、遠隔監視者が状況を確認し、システムの判断を承認すること等が考えます。その他、空港の円滑な運営を考えると、万が一の車両トラブル時においてすぐに遠隔監視者による乗客への呼びかけ、案内及び人間が駆けつけて対処することができるよう、リアルタイムな状況のモニタリングが必要あります（今般の実証実験においては、国土交通省航空局の求めに応じて、万が一の場合に備えて車内にドライバを配置するものの、今後自動走行レベル4相当等での実装を見据えると、遠隔監視者による対応が必要となります）。

更に、本実証実験においては、ローカル5G及びキャリア通信による冗長性を確保することとしています。仮にこれらがいずれも途絶した場合においては、車両が安全に停止することで安全性を確保する必要があります。

### 4.3.3 自動運転車両・遠隔監視システム

自動運転車両については、電気自動車（小型バスタイプ）の車両を使用しました。主要諸元および車両イメージを以下に示します。同車両は、既存車両を自動運転車両に改造したものであり、主として LiDAR 取得情報と三次元高精度地図を用いて自己位置推定を行い自動運転実現しました。自動運転ソフトウェアとしては株式会社ティアフォーも開発を行っているオープンソースソフトウェアである Autoware を使用し、本車両の仕様に基づきチューニングを行いました。同ソフトウェアを用いた実証実験は、これまで国内で公道含め 80 か所あまりで実施されており、本案件を遂行するために十分な実績を誇っています。

表 4-1 自動運転車両 主要諸元

車種	元車体	タジマモーター社製 GSM8 ベース
仕様	LWH(mm)	4,840×1,510×2,125
	車両重量(空車)(kg)	1,350
	最大積載量(kg)	600kg(60kg×10名)
	軸間距離(mm)	2,835
	乗車定員(名)	8-10(当初はオペレーター1名、乗客9名)
リチウムイオンバッテリー	充電容量(kWh)	22.6
	充電時間	普通充電(コンセント)で8-10時間
駆動	駆動方式	モーター
走行	走行速度(km/h)	0~19
	最小回転半径	5.4m
	登板能力	20%(10m前進し2mの高さに達する傾斜)
	航続距離/日	100km/日(当初、5年後でも80km/日の前提)
その他	エアコン、手動車椅子用スロープ有り。手動小窓(顔、手がでない程度)。社内スクリーン設置予定。	



図 4-11 自動運転車両





図 4-12 遠隔監視用カメラ搭載位置イメージ

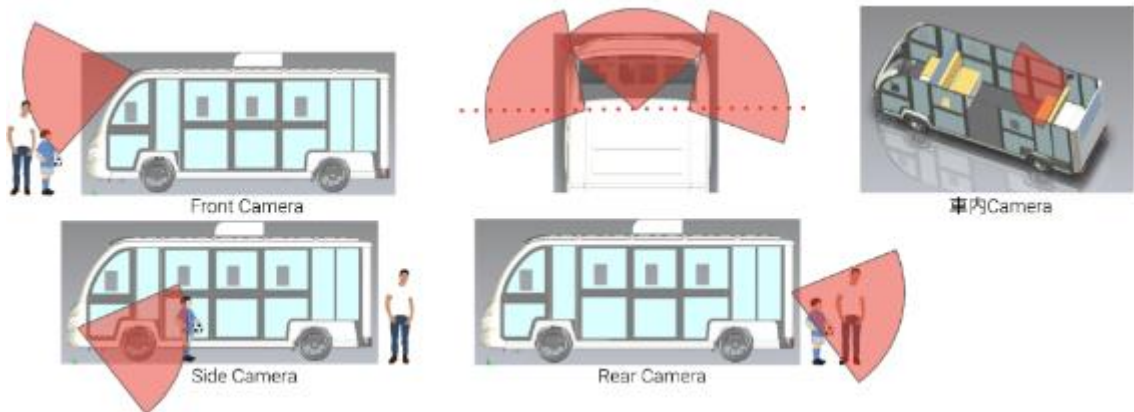


図 4-13 遠隔用カメラの視野範囲イメージ

遠隔監視システムは、遠隔監視者が車両に取り付けたカメラからの映像等の確認や、各種安全等にかかる判断を行い、車両側との連携を実施できるようにします。車外の安全確認や、車内確認を円滑に行えるようにカメラは車内外に合計7台設置しました。

遠隔監視システムを以下に示します。また、遠隔監視に加えて安全確認や経路変更等の承認も実施しました。同承認におけるフローは遠隔監視とは異なるラインを用いました。なお、遠隔監視画面には、カメラ映像に加えて、地図・位置・経路情報等も表示することとし、円滑に各種承認を行えるように工夫しました。



図 4-14 遠隔監視の様子（成田国際空港敷地内で実施）

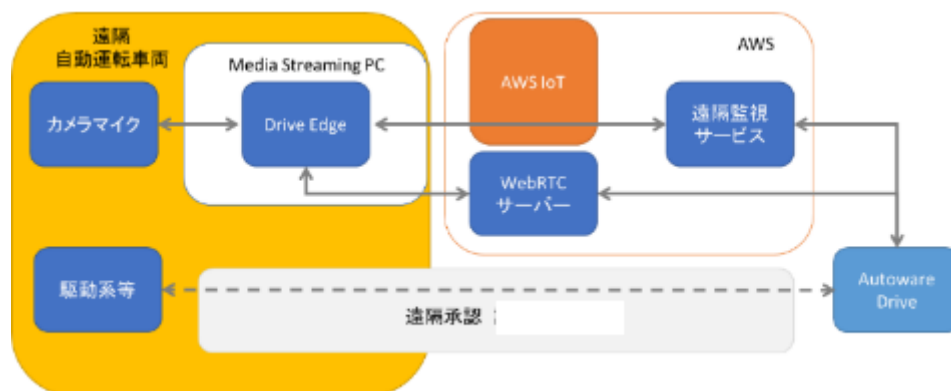


図 4-15 遠隔監視フロー



図 4-16 遠隔監視画面イメージ

自動運転車両と遠隔システムの接続にはインターネットを用いますが、冗長性を担保するためにキャリア通信とローカル5G間の切り替え機能を実装しました。本件については以下追加提案においてその検証方法等について詳述します。

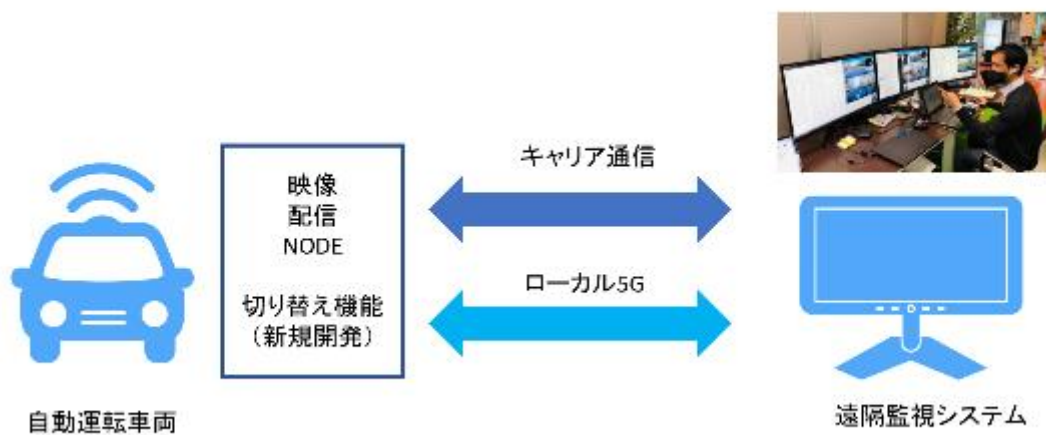


図 4-17 遠隔システムにおける通信冗長構成 (追加提案)

## 4.4 実証内容

### 4.4.1 ローカル5Gを用いたソリューションの有効性等に関する検証

#### 4.4.1.1 効果検証

##### (1) 評価・検証項目

##### ① 自動運転車両の走行が規定ルートで行えること

- 1) 車両技術(自己位置推定精度、センサー等の検知精度)、エラー発生率等、空港内のルールに沿った運転ができていないか(車線内を正しく走行できているか、速度制限を守れているか、停止位置で問題なく停止できているか)
- 2) 誤検知等に起因する緊急停止の回数(ただし、実証実験で保守的に運用)等を検証(検証フローを以下に示します)

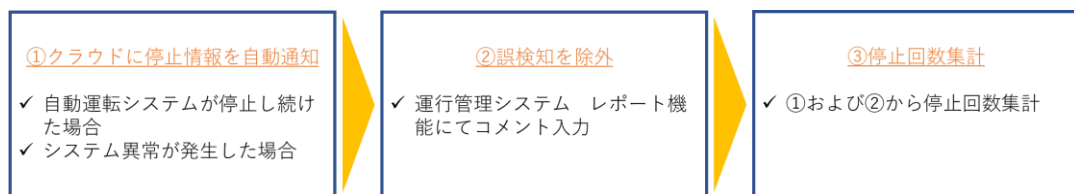


図 4-18 検証フロー

##### ② ローカル5G及び遠隔監視自体の機能動作すること

- 1) 遠隔管理・操作想定シーンを模擬し、動作すること
- 2) 様々な環境下における移動物による遮蔽(航空機・他車両など)、電波被干渉影響、走行中ハンドオーバー影響等の調査等

##### ③ ローカル5Gと他の通信インフラの通信利用最適化

- 1) キャリア通信(LTE、NSA)と 2. ①シナリオに基づいて実施し、通信利用最適化について実験評価すること等

##### ④ 関係者の理解

- 1) 旅客やランプ利用者(エアライン、グランドハンドリング会社等)、運用委託会社の理解・受容

##### ⑤ 将来的な経済性に係る見通し(複数台運用した場合、運用委託会社含め)

## (2) 評価・検証方法

ローカル5Gを導入することにより、通信の安定性・帯域などのパフォーマンスがどれだけ向上するか評価を行いました。

なお、本実証実験に先立ち、国土交通省航空局により、「レベル4相当に向けた実証実験」を実施する上での車両の走行性能の確認がレベル4相当版の「安全性に関するチェックリスト」に基づき実施されました。

表 4-2 (参考) 安全性に関するチェックリスト (その1)  
【レベル3相当版 (レベル4相当版は非公開)】

No	検証項目	備考	完全自動を要する項目	
1	所定の場所で停止することが可能あること		○	
2	停止標識※のある場所では一旦停止できること ※停止標識とは、車両通路の交差部等、停止が必要となる場所にマーキングされたもの。	2-1	停止標識のある場所では一旦停止できること	○
		2-2	一旦停止後、安全を確認した上で走行再開ができるか ※ターミナルビル周辺には、鋭角な合流地点など、合流先の通路を走行する車両を目視しにくい箇所がある	
3	車線を維持して走行すること	3-1	車線を維持して走行すること	○
		3-2	GPSの信頼性低下時や、GPS受信が不安定となる可能性があるターミナルビル周り、トンネル等において、走行可能か。またはGPSの代替措置が機能するか	
4	制限速度を超過しないこと	4-1	制限速度を超過しないこと	○
		4-2	交通量が多い状況で、制限速度を大幅に下回る速度で走行し、渋滞を引き起こして円滑な交通の流れを阻害することがないか	
5	先行車※との間に適切な車間距離を維持して走行することが可能か ※先行車とは公道を走る車両のみでなく、空港内の特殊車両 (自走、非自走) を含む			
6	先行車が減速及び停止した場合に、適切な車間距離を維持しつつ減速、停止することが可能か			
7	適切に後退することが可能か			

表 4-3 (参考) 安全性に関するチェックリスト (その2)  
【レベル3相当版 (レベル4相当版は非公開)】

No	検証項目	備考	完全自動を要する項目
8	<p>先行車に追隨して走行中、先行車が停止し、かつ、停止後何らかの理由により後退を開始した場合に、後続車との位置関係を考慮して後退するなど適切に対応できるか</p> <p>(後続車がない場合は後退する、または後続車との位置関係で後退することが不可能な場合にはクラクションを使用する等先行車のドライバーに注意喚起することができるか。)</p>		
9	<p>後続車による追い越しなどがあつた場合に、適切に走行することが可能か</p> <p>※左右どちらから追い越されるかについては、空港によって異なる。また、同一の空港であっても場所によって異なる</p>	<p>9-1 後続車による追い越し及びその後の一定の車間距離を保つた車線合流があつた場合に、搭乗者や後続車に危害を及ぼすことなく走行することが可能か</p>	<p>運用する空港・場所に合せて左右いずれか、もしくは両方から追い越された場合を確認</p>
		<p>9-2 後続車による追い越し及びその後の急な車線合流があつた場合に、搭乗者や後続車に危害を及ぼすことなく走行することが可能か</p>	
		<p>9-3 後続車による追い抜き (追い越し車線を走行して通過) があつた場合に、搭乗者や後続車に危害を及ぼすことなく走行することが可能か</p>	
10	<p>マーシャリングや補修などのための車両通路の一時的な閉鎖に使用する三角コーンを認識し、安全に停止することが可能か</p>		
11	<p>空港内の特殊車両 (自走車両、非自走車両) 及び機材 (トローラー等) を車両として認識することが可能か</p>		

表 4-4 (参考) 安全性に関するチェックリスト (その3)  
【レベル3相当版 (レベル4相当版は非公開)】

No	検証項目	備考	完全自動を要する項目
12	手荷物等の大きな物体を所持する車両通路にいる作業員を人として認識して停止することが可能か	人と物(障害物)を区別し、それぞれに合わせた走行(挙動)を設定している場合のみ確認	
13	信号のない交差点を安全に走行することが可能か	13-1 交通量が少ない交差点において安全に走行することが可能か	
		13-2 交通量が多い交差点において、安全を重視するあまり全ての対向車を優先し、渋滞を引き起こして円滑な交通の流れを阻害することがないか	事前テストでは確認しない
14	優先道路を走行中の丁字路において、右折もしくは左折して合流してくる車両に対応することが可能か (合流してくる側が一旦停止し安全を確保した上で合流することになっている場所において、合流しようとしている車両が停止標識のある場所で一旦停止することを見越して、減速や停止することなく走行できるか)		



表 4-5 (参考) 安全性に関するチェックリスト (その4)  
【レベル3相当版 (レベル4相当版は非公開)】

No	検証項目	備考	完全自動を要する項目
15	車両通路を横断する作業員を発見した場合には減速、一旦停止するなどして接触を回避することが可能か ※横断する作業員は、安全を確認してから横断することが原則	15-1 制限区域内では横断歩道以外の場所においても車両通路を横断する作業員が存在する。また、横断はしないが車両通路近傍で作業する作業員や車両通路の方向へ向かってくる作業員が存在する。それら作業員との接触を回避することが可能か	
		15-2 大規模空港においては、頻繁に横断者する作業員が存在する。安全を重視するあまり全ての横断者（これから横断しようとする者、近傍で作業している者等を含む）を優先し、渋滞を引き起こして円滑な交通の流れを阻害することがないか	事前テストでは確認しない
16	横断歩道以外の場所を歩いてターミナルビルと航空機の間を移動する旅客との接触を回避することが可能か		

表 4-6 (参考) 安全性に関するチェックリスト (その5)  
【レベル3相当版 (レベル4相当版は非公開)】

No	検証項目	備考	完全自動を要する項目
17	エプロンやターミナルビル側から車両通路に合流してくる車両に対応し適切に走行することが可能か ※交差点以外のあらゆる場所から合流の可能性はある	17-1 合流頻度が低い場合に対応し適切に走行することが可能か	
		17-2 合流頻度が高い場合に、安全を重視するあまり全ての合流車両を優先し、渋滞を引き起こして円滑な交通の流れを阻害することがないか	事前テストでは確認しない
18	車両通路からエプロン等へ進入するために走行通路前方を横断しようとする対向車に対応し適切に走行することが可能か ※交差点以外のあらゆる場所において対向車が横断する可能性がある	18-1 対向車横断頻度が低い場合に対応し適切に走行することが可能か	
		18-2 対向車横断頻度が高い場合に、安全を重視するあまり全ての対向車を優先し、渋滞を引き起こして円滑な交通の流れを阻害することがないか	事前テストでは確認しない
19	被牽引車両の台数・種類等に応じて適切に牽引走行すること	運用時の被牽引車両の条件 (台数、コンテナ有無、一般形/パレット型)に合わせて確認	○
20	緊急車両 (青色もしくは赤色閃光灯を点灯した車両) の存在を把握し、必要に応じて一旦停止し道を譲ることが可能か	事前テストでは確認しない	

表 4-7 (参考) 安全性に関するチェックリスト (その6)  
【レベル3相当版 (レベル4相当版は非公開)】

No	検証項目	備考	完全自動を要する項目
21	路車連携型の場合、走行箇所等に設置するもの（磁気マーカ等）が航空機、管制機器等へ影響を及ぼさないこと	書類等で確認する	○
22	降雪時の標識が見えない場合、雨天時の夜、反射により路面が見づらい場合など、あらゆる天候時において、適切に走行することが可能か	事前テストでは確認しない	
23	霧、降雪等の低視程状態を認識して、通常よりも減速して走行することが可能か	事前テストでは確認しない	
24	霧、降雪等の低視程状態を認識して、前照灯を点灯することが可能か	事前テストでは確認しない	

## ① 自運転車両の走行が規定ルートで行えること

車両技術(自己位置推定精度、センサー等の検知精度)、エラー発生率等、空港内のルールに沿った運転ができていないか(車線内を正しく走行できているか、速度制限を守れているか、停止位置で問題なく停止できているか)。

### 【実施方法】

- i. 自動運転システムの自己位置推定機能を実行し、マニュアル走行にて走行予定経路を走行し、事故位置推定が破綻しないか、事故位置推定のマッチングスコアを確認する。
- ii. Simulator 車両が走行できるのか、地図が正しく作成されているか走行して確認する。
- iii. 自動運転による実車評価にて Simulator と同様の確認を行う。特に実世界と地図の位置があっているかを目視による確認を行う。
- iv. 走行予定経路を複数回走行し、エラーや想定外のことが発生しないか走行試験を行う。

誤検知等に起因する緊急停止の回数(ただし、実証実験で保守的に運用)等を検証

### 【実施方法】

- i. 走行予定経路を自動運転で一定期間走行し、エラーによる緊急停止が発生しないか、もしくは発生頻度を確認する。

## ② ローカル5G及び遠隔監視自体の機能動作すること

### 1) 遠隔管理・操作想定シーンを模擬し、動作すること

#### 【実施方法】

- i. 自動運転システム及び遠隔監視システムを起動し、自動運転の走行を開始する。
- ii. 外部ネットワークに自動運転車両がつながっているか疎通確認を行う。
- iii. 走行予定経路を自動運転で走行する。
- iv. 発進時の安全確認を遠隔監視者が承認するために、遠隔監視画面にて映像が出力されていることを確認し、通信の疎通確認を行う。

### 2) 様々な環境下における移動物による遮蔽（航空機・他車両など）、電波被干渉影響、走行中ハンドオーバー影響等の調査等

#### 【実施方法】

- i. 自動運転システム及び遠隔監視システムが起動し、走行予定経路を自動運転で走行する。
- ii. 遠隔監視者が遠隔監視画面にて走行映像を確認し、目視及びログ出力にて映像品質を確認する。

#### 【詳細】

本評価では、想定ユースケースとしての遠隔監視の通信としてパフォーマンスが十分か評価します。なお、成田空港において2022年2月走行より、遮蔽物（航空機やGSE車両、PBB等）、天候、時間帯等において複数パターンを設定し検証を行いました。

### 3) 電波品質の調査

以下調査を実施しました。

#### 【キャリア通信・ローカル5G通信】

- (a) 走行ルートにおける電波品質・強度の調査を実施
- (b) 現地環境下において、遠隔監視システムとの通信の接続試験を実施
- (c) 遠隔監視システムにおける映像品質の目視確認等の実施
- (d) 必要に応じて、電波の品質改善等を実施

#### 3-1) ローカル5G調査方法

##### ・実験機材構成

NTT東日本にて準備したオンプレミスでのWebRTC方式オンプレ環境映像配信装置をもちいて、オンプレミスでインターネット等の影響を排除したデータ計測を行い、ローカル5Gによる映像送受信の単体疎通試験と簡易的な特性計測を行いました。

WebRTCサーバを構築し、自動運転車内に設置したNTT東日本の7台カメラ映像のアップロード環境を、映像受信用WebRTCサーバで受信してローカル5G単体での映像転送を確認しました。

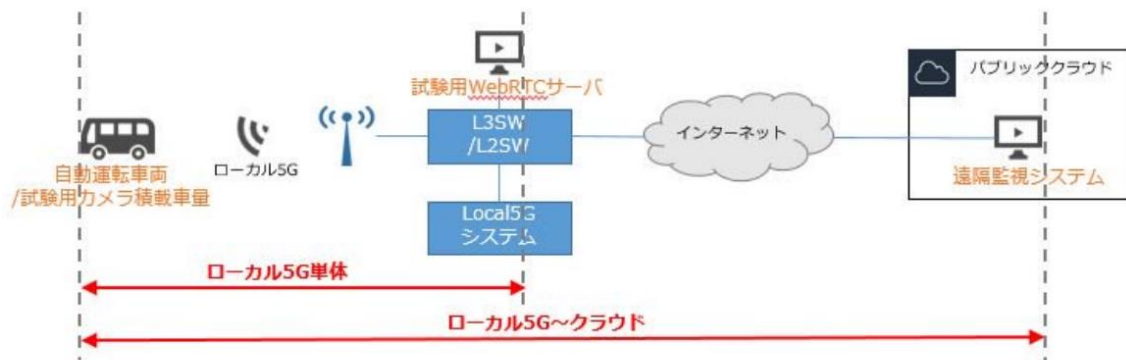


図 4-19 システム構成図

上記環境のうち、ローカル 5 G 網内に WebRTC サーバ（オレンジ色部分）のみ、試験用で接続しました。

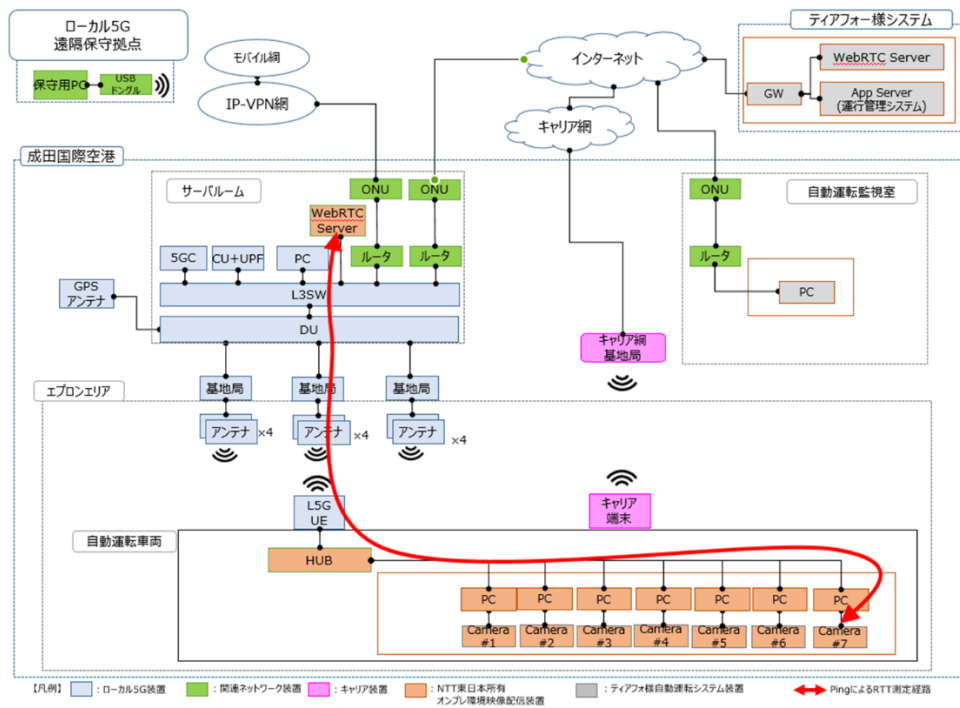


図 4-20 全体およびNTT 東日本保有オンプレ環境映像配信装置（オレンジ色）

NTT 東日本保有オンプレ環境映像配信装置は以下から構成されます。

■ハード構成

- USB-LAN—NIC (UE 接続品)



	メーカー	CPU	USB	伝送速度
UELAN接続用NIC	Buffalo	LUA4-U3-CGTE-BK	USB3.1	1000Mbps

図 4-21 USB-LAN-NIC 装置外観と諸元

- HUB



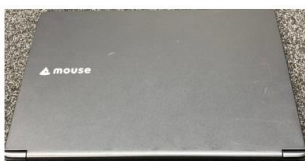
	メーカー	品番	インターフェース
HUB	ELECOM	EHC-G08MN2-HJW	1000Mbps × 8port

図 4-22 HUB の外観と主要諸元

- 車載映像配信用 PC



	メーカー	CPU	メモリ	GPU
パソコン① (映像配信用)	MousePC G-Tune E5	Intel 11 <sup>th</sup> core i7	32GB	あり NVIDIA GeForce RTX 3050 Laptop GPU GDDR 64GB



	メーカー	CPU	メモリ	GPU
パソコン① (映像配信用)	MousePC	Intel 10 <sup>th</sup> core i7	16GB	なし

図 4-23 車載映像配信用 PC 外観と主要諸元

- 車載試験用カメラ



	メーカー	品番	解像度	フレームレート
Webカメラ (映像配信用)	Buffalo	BSW500M	最大1920 × 1080	最大 30fps

図 4-24 車載試験用カメラの外観と主要諸元

・ローカル5G端末

2章記載の京セラ製ローカル5G端末を使用しています（NTT 東日本保有オンプレ環境映像配信装置構成外）。



	メーカー	品番	インターフェース
UE (映像配信用)	京セラ	K5G-C-100A	USB Type-C

図 4-25 ローカル5G端末

以下にローカル5Gの車載搭載位置を示します。



図 4-4-26 端末の車載位置（赤枠部分）

■映像配信サーバ主要構成

NTT 東日本保有オンプレ環境映像配信装置のうちの WebRTC サーバは以下構成にて実現しています。

表 4-8 映像配信サーバ主要構成

機能	仕様
Sever OS	Ubuntu server 20.04 LTS
映像配信システムアプリ (WebRTC)	Janus WebRTC server (© meetecho 2014-2022)



・実験方法

ローカル5G網内にNTT東日本保有オンプレ環境映像配信装置を用い、事前実験においてはレンタカー（日産セレナ）と端末車載（リアウィンドウに張り付け）、自動運転車内に設置した7台のカメラからの映像のアップロードを映像受信試験用WebRTCサーバで受信しローカル5G単体での映像転送の特性を確認しました。

画質の評価を実施するためにWebRTCサーバにフレームレートのログを残し、以下の要求仕様について基準値より超えていることを確認しました。

計測点はルート上の主要なランドマークとし、車載進行方向別に17点計測しました。



図 4-27 ルート上測定点マップ

表 4-9 ルート上測定点位置座標一覧表

地点番号	ランドマーク	緯度	経度
1	3 ビルバス停	35.77890094	140.3853554
2	151 スポット	35.77925306	140.3853148
3	152 スポット	35.77887425	140.3856245
4	153 スポット	35.77854618	140.3858596
5	154 スポット	35.77806965	140.3862029
6	75 スポット交差点	35.77751115	140.386557
7	75 スポット	35.77695252	140.3867675
8	74 スポット	35.77648962	140.3870968
9	73 スポット	35.77584782	140.3875529
1 0	72 スポット	35.77526997	140.3879704
1 1	71 スポット	35.77463289	140.3884291
1 2	70 スポット交差点	35.77484949	140.3893113
1 3	2 ビル進入時	35.77447085	140.3897532
1 4	61 交差点	35.77363906	140.3903399
1 5	2 ビルバス停	35.77423602	140.389817
1 6	第3ビル建物下進入時	35.77868265	140.3856873
1 7	第3ビルUターン	35.77981402	140.3848646

・ KPI

本実証に定める遠隔型自動運転の映像伝送品質と同じ基準で評価します。

表 4-10 KPI 一覧表

KPI	数値
映像遅延	400msec 以内
フレームレート	9fps 以上
画質	フロント：HD(1280x900 画素)画質以上 その他カメラ VGA(640x480 画素)画質以上

#### 4) 遠監視システムの評価

遠隔監視システムの概要構成を示します。遠隔監視システムでは、映像と制御情報を、サーバ経由でデータをやり取りします。本評価では遠隔監視システムで最も通信の状態に依存するクラウドシステム、自動運転車両間の通信を評価します。本評価では、ネットワーク計測ツール（オープンインターネット上にあるスループット測定サイトによる計測や必要に応じ Netperf/iPerf 等を想定）を用いてクラウドシステム、自動運転車両間の通信の評価を行います。走行経路上に一定間隔で計測地点を設け、それぞれで TCP / UDP を計測し、帯域、ジッター、パケットロス率の計測についても状況に応じて実験評価します。

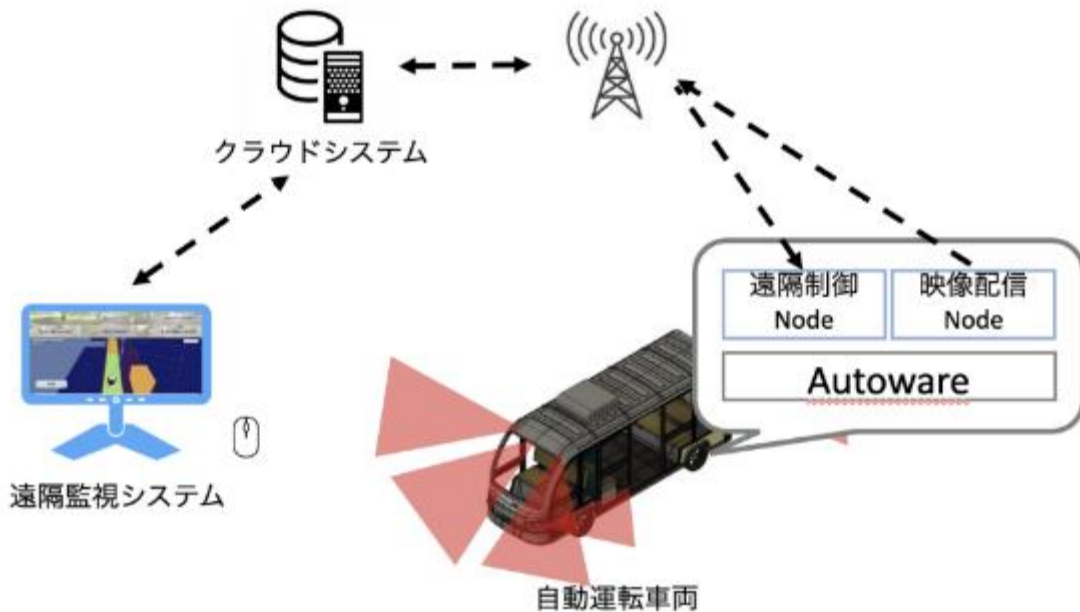


図 4-28 自動運転車と遠隔監視のシステム構成

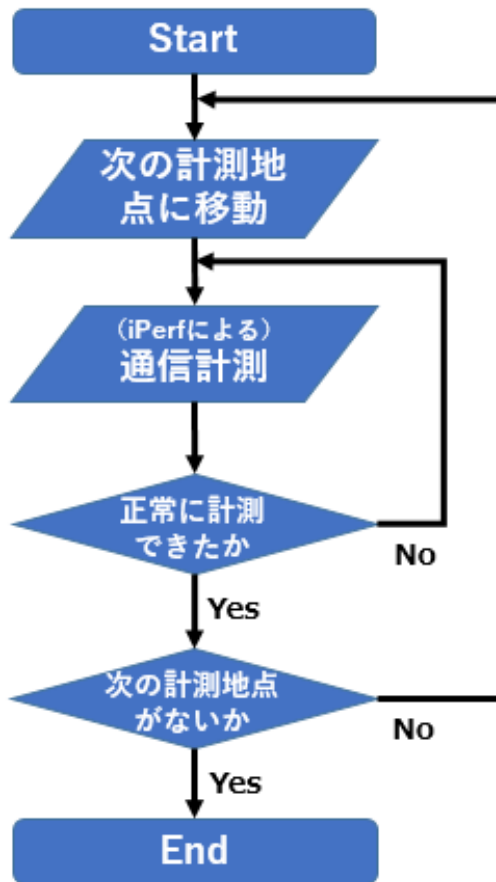


図 4-29 計測フロー

### ③ ローカル5Gと他の通信インフラの通信利用最適化

キャリア通信単体についても、(1)&(2)のシナリオに基づいて実施し、利用方法を比較します。

- ・スループットの計測
- ・必要に応じて下記のデータ等を取得、解析
  - パケットロス等

#### 1) キャリア通信単体の測定方法

- ・キャリア5G実験機材構成

NSA構成のキャリア5Gを当該エリアに構築し、自動運転車内に設置したNTT東日本の7台のカメラによる映像アップロードに冗長NW網として用います。EPC近傍にiperfサーバを構築しスループット測定・ping RTT測定に用います。詳細の測定方法はローカル5G測定に準じます。

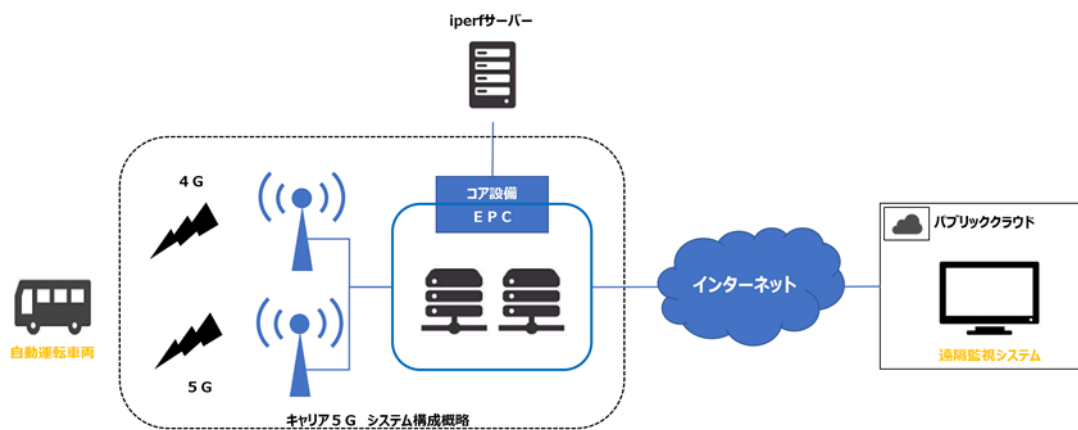


図 4-30 キャリア 5 G 実験機材構成

## 2) 利用最適化の方法

走行車両データから、表 4-9 ルート上測定点位置座標一覧表に基づく測定点でのスループットのうち、映像伝送に用いていたプロトコル (UDP 方式) のアップロードを主に、下表の測定を実施し、本環境の特徴を把握しました。

本実証においては冗長系構成を用いることから、映像伝送 KPI に要することを満たすことを確認します。

#### ④ 関係者の理解

旅客や空港管理者、制限区域内ターミナル間連絡バスの運用会社の理解・受容を確認するためのアンケート調査を実施しました。

##### ■アンケート①：空港管理者へのアンケート調査

制限区域内での自動運転車両の実証走行に空港管理者も同乗し、旅客及び空港管理者の立場での理解・受容性についてアンケートを実施しました。

表 4-11 アンケート概要

項目	内容
アンケート対象者	成田国際空港株式会社職員 (制限区域内での自動運転車両の実証走行への同乗者)
アンケート概要	制限区域内での自動運転試験に同乗した職員に対して、旅客目線及び空港運営での評価や課題の確認 ①旅客目線での自動運転車両への乗り心地、安心感、不安な点等の確認 ②空港運営の観点での懸念事項や課題の洗い出し
アンケート期間	2022年2月10日～2月28日

表 4-12 アンケート項目

アンケート項目	設問
①旅客目線での自動運転車両への乗り心地、安心感、不安な点等の確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発信時、走行時、停車時の乗り心地の評価（5段階評価）とその理由</li> <li>・乗車前後での安心感の変化（5段階評価）とその理由</li> <li>・5Gを活用した遠隔監視による安心感の変化（5段階評価）</li> <li>・旅客に乗車頂くことへの懸念（5段階評価）とその理由</li> <li>・自動運転車両における不安な点の確認（選択式）</li> </ul>
②空港運営の観点での懸念事項や課題の洗い出し	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自動運転バスの運行に関する気になる点の確認（記述）</li> <li>・空港管理者の立場で空港運営に影響を与えうる事象等の確認（記述）</li> </ul>

1.所属部署とお名前を記入してください。

回答を入力してください

2.自動運転車両の乗り心地はいかがでしたか？ \*

	非常に良かった (快適だった)	よかった	どちらともいえ ない	よくなかった	非常に良くな かった(不快だっ た)
発信時	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
走行時	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
停車時	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3. 2. の回答をした理由を教えてください。

(回答例)発信、停車は有人バスと同じく快適だったが、走行時の一時停止が急だった。 \*

回答を入力してください

4.乗車前後で自動運転車両に対する安心感は変わりましたか。 \*

- 非常に高まった
- 高まった
- 変わらない
- 不安になった
- 非常に不安になった

図 4-31 アンケートフォーム (Microsoft Forms)

5. 今回の実証走行では、将来的な無人走行を見据え、5Gを用いて遠隔で動作の監視を行っております。本監視の有無で自動運転車両における安心感は変わりますか。\*

- 非常に高まる
- 高まる
- どちらともいえない
- 不安になる
- 非常に不安になる

6. お客様に自動運転車両に乗車いただくことに対して、問題ないと思いますか。\*

- 全く問題ない(懸念点はない)
- 問題ない(軽微な懸念点のみ)
- どちらともいえない
- 問題がある(気になる点がある)
- 非常に問題がある(気になる点が多い)

7. 6. の回答をした理由を教えてください。

(回答例)一時停止時の動作が若干不安だったが、連絡バス程度の短距離を乗車する分には問題ないと思った。\*

回答を入力してください

図 4-32 アンケートフォーム (Microsoft Forms)



8. 自動運転車両について、不安な点があれば教えてください(複数回答可) \*

特に不安な点はない

事故時の対応

乗り心地

安全性

有人によるサポートがなくなる点

UD

9. 自動運転バスの運行において気になる点がございましたらご記入をお願いします。特になければなかった旨ご記入をお願いします。  
(回答例) 通信トラブル等で安定的な運行ができるのか \*

10. 空港管理者の立場で、自動運転バスの運行により空港運用に広く影響をあたえるような事象等気になる点がございましたらご記入をお願いします。特になければなかった旨ご記入をお願いします。  
(回答例) 障害物検知の回数が多く必要以上に停止していて他のGSE車両に影響を及ぼさないか \*

11. その他、感想やコメント等あればご記入をお願いします。

図 4-33 アンケートフォーム (Microsoft Forms)

■アンケート②：制限区域内ターミナル間連絡バスの運用会社へのアンケート調査  
 制限区域内ターミナル間連絡バスの運用会社（成田空港交通株式会社）へのオンライン説明会を開催し、その説明会の内容を踏まえて、アンケートを実施しました。

表 4-13 説明会概要

項目	内容
開催日時	2022年1月26日(水) 13:30～15:00
開催方式	オンライン開催
参加者	成田空港交通、NTT 東日本、ティアフォー、KDDI、NAA
説明会内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>・概要説明               <ul style="list-style-type: none"> <li>-施策概要説明</li> <li>-自動運転説明</li> <li>-5G説明</li> </ul> </li> <li>・自動運転の紹介（ムービー）</li> <li>・遠隔監視の紹介（ムービー、リアルタイム）</li> <li>・質疑</li> </ul>

表 4-14 アンケート概要

項目	内容
アンケート対象者	制限区域内ターミナル間連絡バス 運営委託会社
アンケート概要	<p>オンライン説明会を受けて、今後の実装に向けて以下の項目の評価や課題の抽出</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>③自動運転の印象やお客様や運行に対する懸念点</li> <li>④遠隔監視者の立場で業務を遂行する場合の課題</li> <li>⑤保安員（ドライバー）の立場で業務を遂行する場合の課題</li> </ul>
アンケート期間	2022年2月10日～2月28日

表 4-15 アンケート項目

アンケート項目	設問
自動運転の印象やお客様や運行に対する懸念点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自動運転の印象に変化（5段階評価）</li> <li>・旅客の乗車に対する問題や懸念点（5段階評価）</li> <li>・自動運転車両について、不安な点の確認（選択式）</li> </ul>
遠隔監視者の立場で業務を遂行する場合の課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現行の運用と比較した時に気になる点の確認（記述）</li> <li>・解消に向けた具体策（記述）</li> </ul>
保安員（ドライバー）の立場で業務を遂行する場合の課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現行の運用と比較した時に気になる点の確認（記述）</li> <li>・解消に向けた具体策（記述）</li> </ul>

成田空港交通様

**自動運転走行車両に関するアンケートご協力をお願い**

先日は、お忙しいところお時間を頂戴し、自動運転車両に関する打合せにご出席頂きましてありがとうございました。本施策は航空局や総務省と連携して推進している施策でして、今後の推進のため是非貴社の知見を頂戴したく、アンケートへの回答をご協力いただきたく存じます。お忙しいところ恐縮ですが、以下の設問についてご回答のほどよろしくお願い致します。

回答期日:2月25日(金)

※期日前にご回答完了しましたら期日を待たずにご返却いただけますと幸いです。

**1. 長年ターミナル間連絡バスを運用した経験を踏まえた自動運転の印象やお客様や運行に対する懸念点について**

(1)オンライン説明を受けて、自動運転の印象に変化はございましたか。(選択式、1つ選択)

非常に良くなった・良くなった・変わらない・不安になった・非常に不安になった

(2)お客様に自動運転車両に乗車頂くことに対して、問題や懸念点はございますか。

(選択式、1つ選択)

全く問題ない(懸念点はない)・問題ない(軽微なもののみ)・どちらともいえない・問題がある(気になる点がある)・かなり問題がある(気になる点が多い)

(3)自動運転車両について、不安な点があれば教えてください。(選択式、複数回答可)

不安はない・事故時の対応・乗り心地・安全性・有人によるサポートがない・ユニバーサルデザイン・その他( )

**2. 遠隔監視者の立場で業務を遂行する場合の課題について**

(4)ターミナル間連絡バスを自動走行で運用した場合に、気を付けたほうがよい点としてお気づきのことがございましたらご教授いただけますか?(記述式)

図 4-34 アンケート用紙 (表面)

3. 自動運転車両の乗務員(または緊急時に操作するドライバー)として、業務を遂行する場合の想定される課題について

(5)乗務員(または緊急時に操作するドライバー)として自動運転車両に乗車する場合、現在の連絡バスのドライバーとしての業務と比べて気になる点があればご記入をお願いします。

(記述式)

(6)(5)の内容はどついった点が解消(もしくは、より充実)されれば解決されると思いますか

(記述式)

4. その他

(7)全体を通して、感想やコメント等ございましたらご記入をお願いしますでしょうか？

アンケートは以上となります。ご協力ありがとうございました。

図 4-35 アンケート用紙 (裏面)

### (3) アウトプット

#### ① 自動運転車両の走行が規定ルートで行えること

##### ・ルートに沿った走行・車両挙動の確認

車両技術(自己位置推定精度、センサ等の検知精度)、空港内のルールに沿った運転ができていたかを確認しました(車線内を正しく走行できているか、速度制限を守れているか、停止位置で問題なく停止できているか)。図 4-36 自己位置推定機能の検証結果に自己位置推定機能の検証結果を示します。スコアが低い値は、自己位置推定のマッチングがうまくいっておらず自己位置を見失う確率が高いことを意味します。本実証ではスコアが全体的に高いことを確認しました。

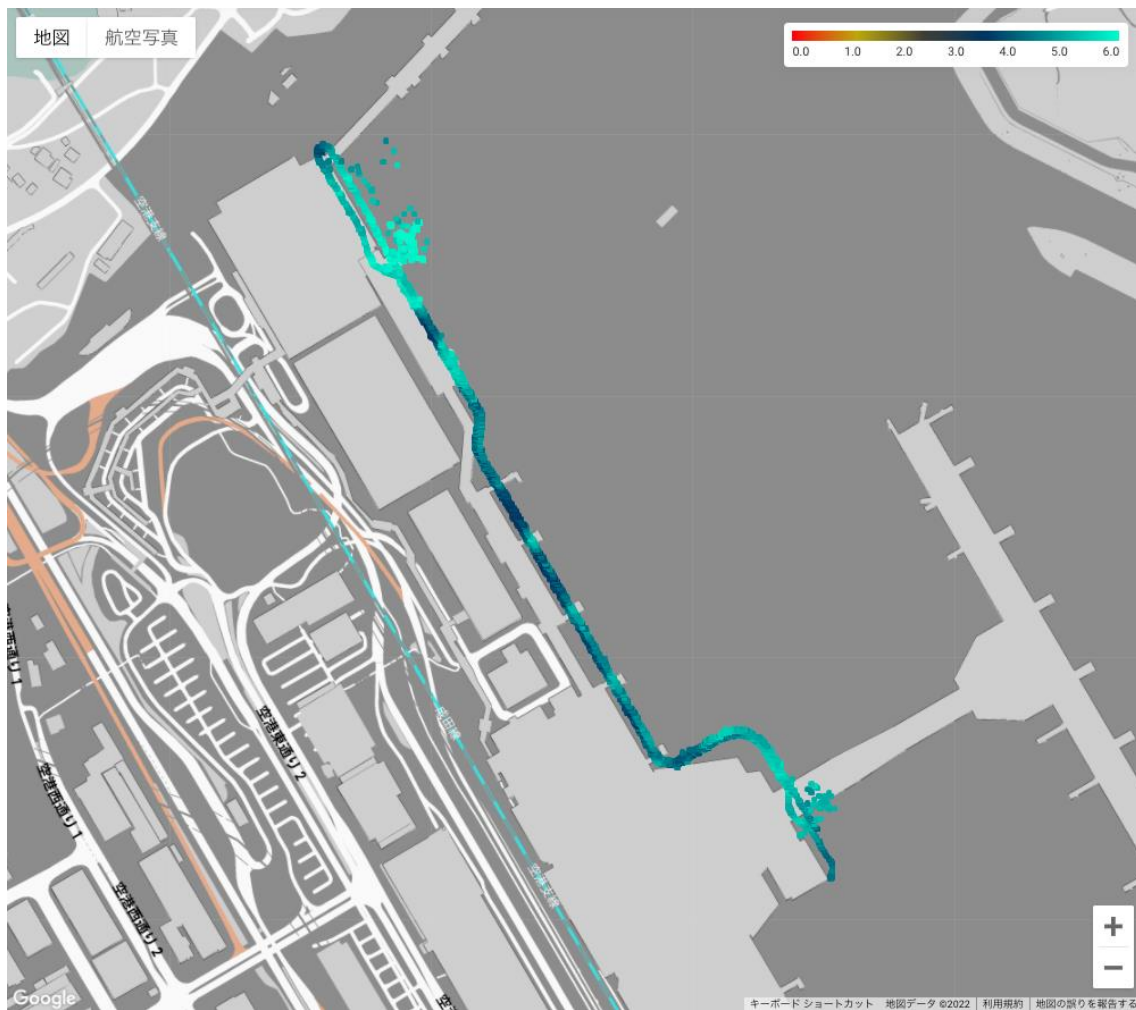


図 4-36 自己位置推定機能の検証結果

- ・誤検知等に起因する緊急停止の回数（ただし、実証実験で保守的に運用）等を検証  
下図で運用を想定し、自動運転での運行を実施した期間の走行距離を示します。

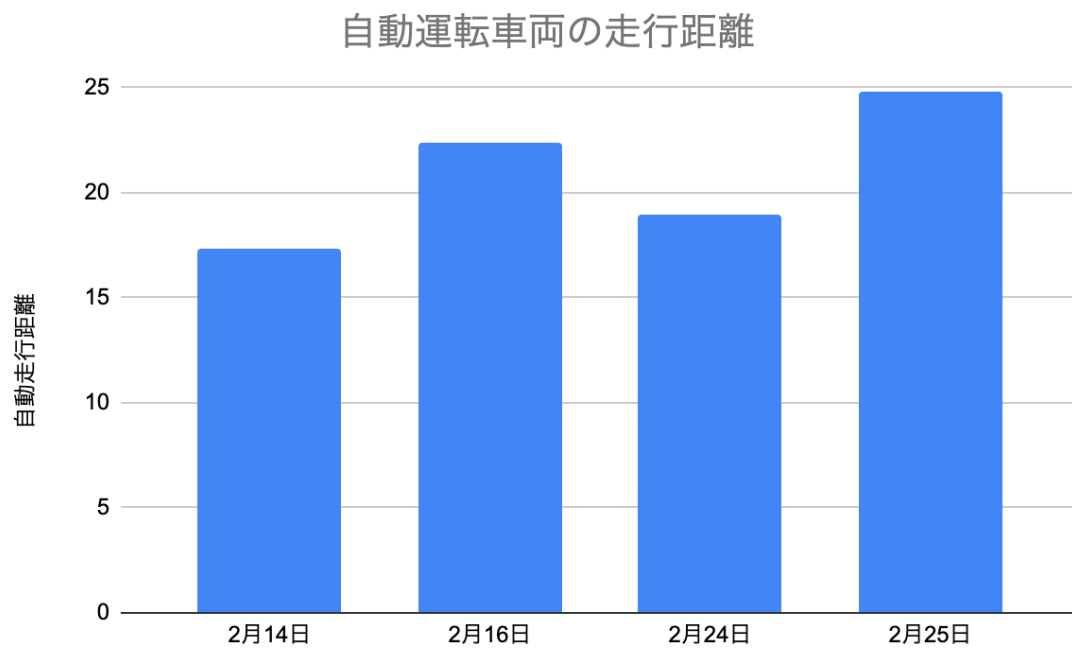


図 4-37 自動運転車両の走行距離

本運行において、自動運転システムで自己解決できない場合にドライバーが介入した回数及びエラー、障害物による緊急停止した回数を下図に示します。ドライバーの介入は、走行経路上の路駐車両、作業車両のカットインがあったため発生しました。路駐車両に関しては、両事象とも今後の回避機能の追加で解消できると思われます。エラーに関しては、自動運転システムの一部機能の動作が不安定になり、発生しました。本事象は自動で復帰したため、安定性を向上させることで解消できるかと思われます。そして、最後に障害物停止による緊急停止は、排ガスの誤検知、センサーのノイズによるもので今後解消できるかと思われます。

### 介入及び緊急停止回数

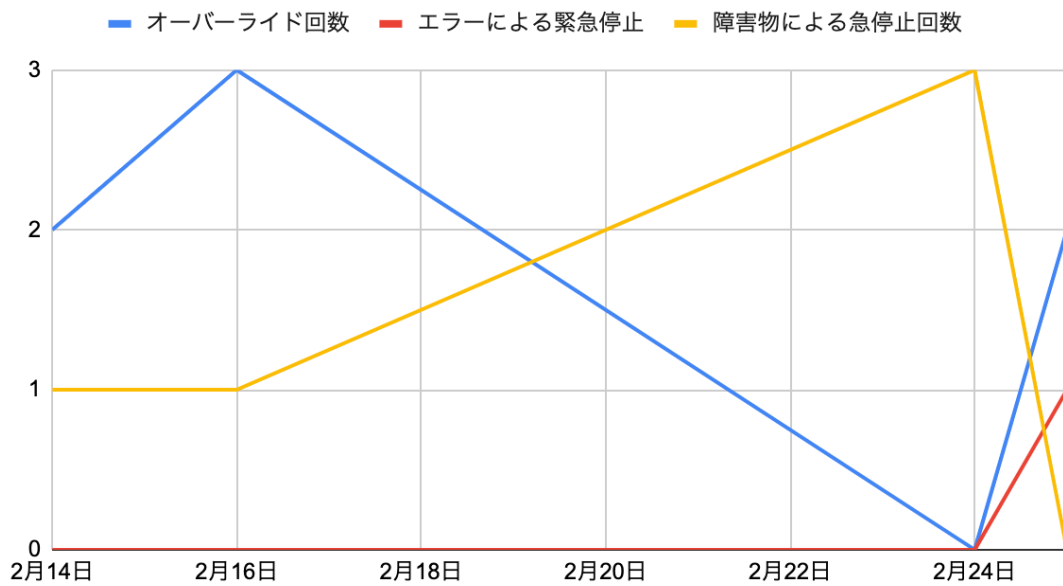


図 4-38 介入及び緊急停止回数

## ② ローカル5G及び遠隔監視自体が機能動作すること

### 1) 事前実験 (NTT 中央研修センター NTT eCity Lab)

制限区域内を走行する前に、事前にローカル5G及び遠隔監視、冗長系切替試験に係る評価を、走行を伴ってNTT 中央研修センター (NTT eCity Labo) にて実施しました。

### 3 社合同での結合・走行試験実施 (NTT 東日本、KDDI、ティアフォー)

- ・ 走行実験日：2021/12/13-12/17
- ・ ローカル5Gによる遠隔支援時(発進指示等)の映像/車両情報伝送を確認
- ・ 万が一ローカル5G機能失陥しても、キャリア通信への冗長構成により遠隔監視・操作継続を確認

試験項目：

- (a) ローカル5G単体による遠隔型自動運転基本動作
- (b) ローカル5Gエリア侵入・離脱時の遠隔映像伝送経路の切替動作
- (c) ローカル5G接続が切れた際の制御系通信のキャリア切替動作

・ 結果

- (a) 70m 試験路で発進停止を確認済
- (b) ローカル5G電波発射OFFにしても遠隔操作継続確認済
- (c) ローカル5Gエリアに進入/離脱しても映像監視継続確認済



図 4-39 NTT 中央研修センター内での事前ローカル5G接続試験



## 2) 成田国際空港内での試験結果

### i. 遠隔管理・操作想定シーンを模擬し、動作すること

制限区域内にて、遠隔管理・操作想定シーンを模擬し、想定通り動作するかの検証を実施しました。

- ・ 走行実験日：2022/1/20-2022/1/21
- ・ 自動運転システムの自動走行機能の動作確認
- ・ 運行管理システムの動作確認
- ・ 遠隔監視システムの動作確認

試験項目：

- 自動運転システム及び遠隔監視システムを起動し、自動運転の走行を開始する。
- 走行予定経路を自動運転で走行する。
- 発進時の安全確認を遠隔監視者が承認するために、遠隔監視画面にて映像が出力されていることを確認し、通信の疎通確認を行う。

### ・ 結果

- 地図の読み込み、自己位置推定機能の動作を確認しました。
- 自動走行車両が想定コースの経路を走行できることを確認しました。
- 遠隔監視システムが動作し、遠隔画面に映像が出力され、発進指示が出せることを確認しました。

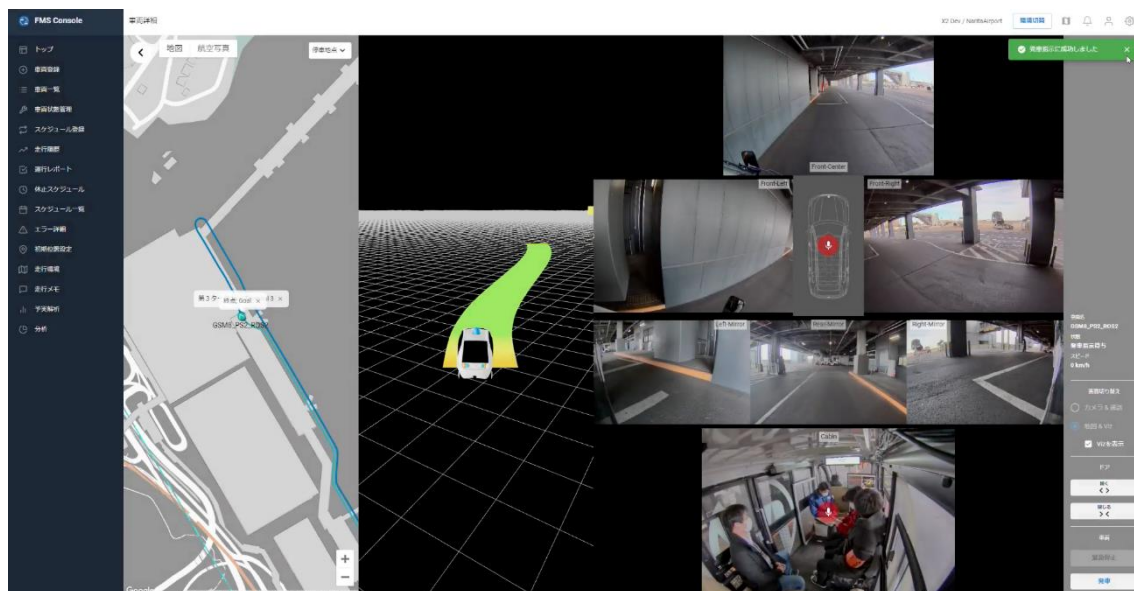


図 4-40 遠隔監視画面

ii. 様々な環境下における移動物による遮蔽（航空機・他車両など）、電波被干渉影響、走行中ハンドオーバー影響等の調査等

**【実施結果】**

自動運転システム及び遠隔監視システムが起動し、走行予定経路を自動運転で走行する。

- (a) 制限区域内にて、移動物による遮蔽（航空機・他車両など）、電波被干渉影響、走行中ハンドオーバー影響等の検証を実施しました。
  - ・ 走行実験日：2022/1/24-2022/1/25
  - ・ 自動運転システムの自動走行機能の動作確認
  - ・ 遠隔監視システムの全走行区間の動作確認
  
- (b) 自動走行システム及び遠隔監視システムが想定コースの経路上で問題なく動作することを確認しました。

遠隔監視者が遠隔監視画面にて走行映像を確認し、目視及びログ出力にて映像品質を確認する。

コース上の全区間にて、目視及びログ出力にて映像品質を確認しました。

3) 電波状況の調査

ローカル5G通信単体で評価を行いました。

i. 走行ルートにおける電波品質・強度調査

自動運転車の端末車載状態にて、電波強度を計測し、最低受信感度-114dBmを下回る顕著な劣化は観測しませんでした。

表 4-16 ローカル5G電波強度確認結果

項番	地点 番号	ランドマーク	方向	SS-RSRP [dBm]
<b>基準値(KPI)</b>				<b>-114dBm以上</b>
<b>判定</b>				<b>OK</b>
1	15	2ビルバス停	北行	-86
2	13	2ビルバス停出口	北行	-86
3	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	北行	-71
4	11	71番スポット	北行	-82
5	10	72番スポット	北行	-76
6	9	73番スポット	北行	-87
7	8	74番スポット	北行	-79
8	7	75番スポット (基地局位置)	北行	-72
9	6	75番スポット先交差点	北行	-79
10	5	154番スポット	北行	-81
11	4	153番スポット	北行	-76
12	16	3ビルバス停入口	北行	-76
13	1	3ビルバス停	北行	-76
14	17	3ビルUターン場所	南行	-82
15	2	151番スポット	南行	-81
16	3	152番スポット (基地局位置)	南行	-64
17	4	153番スポット	南行	-64
18	5	154番スポット	南行	-65
19	6	75番スポット先交差点	南行	-71
20	7	75番スポット (基地局位置)	南行	-72
21	8	74番スポット	南行	-67
22	9	73番スポット	南行	-80
23	10	72番スポット	南行	-80
24	11	71番スポット	南行	-80
25	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	南行	-78
26	13	2ビルバス停出口	南行	-78
27	14	2ビルバス停	南行	-90

ii. 現地環境下において、遠隔監視システムとの通信の接続試験を実施

目視にてローカル5G単体による遠隔監視システムの疎通を確認し、ルート上でも継続動作を確認しました。



図 4-41 遠隔監視システム（成田国際空港敷地内で実施）

### iii. 遠隔監視システムにおける映像品質の目視確認等の実施

本実証において走行経路を遠隔監視システムにて起動させ、目視による映像品質の確認をおこないました。図 4-42 遠隔監視システムの映像確認画(計測地点 1)が、計測地点 1 の実際の映像です。経路上全ての地点において、目視にて映像品質に問題ないことを確認できました。



図 4-42 遠隔監視システムの映像確認画(計測地点 1)

### ③ 関係者の理解（関係者アンケート調査結果）

アンケート調査結果は以下の通りです。

#### ■ アンケート①：空港管理者へのアンケート調査

Q:自動運転車両の乗り心地はいかがでしたか？（5段階）また、その理由を教えてください。

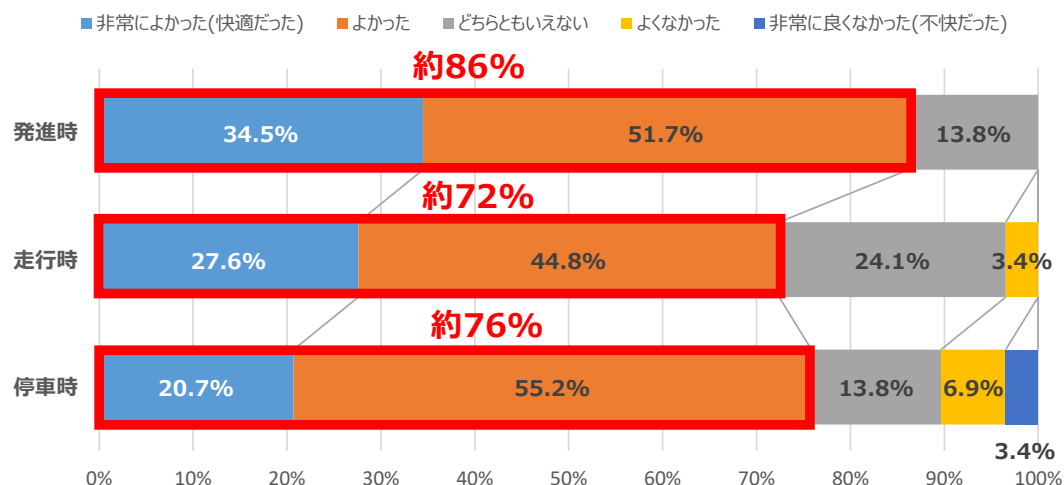
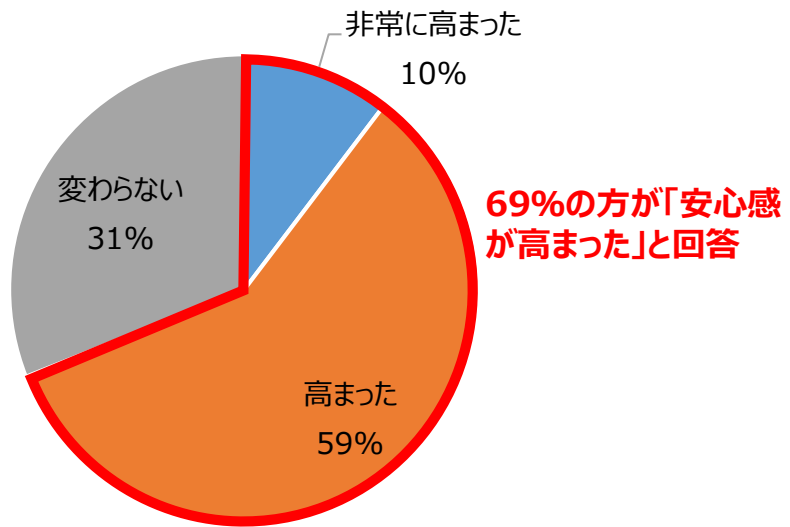


図 4-43 自動運転車両の乗り心地はいかがでしたか？（5段階、n=29）

なお、乗り心地についてのコメントについて快適であるコメントが多数ありました（19名/29名）。一方、急停車に対する懸念の声が多かったです（15名/29名）。

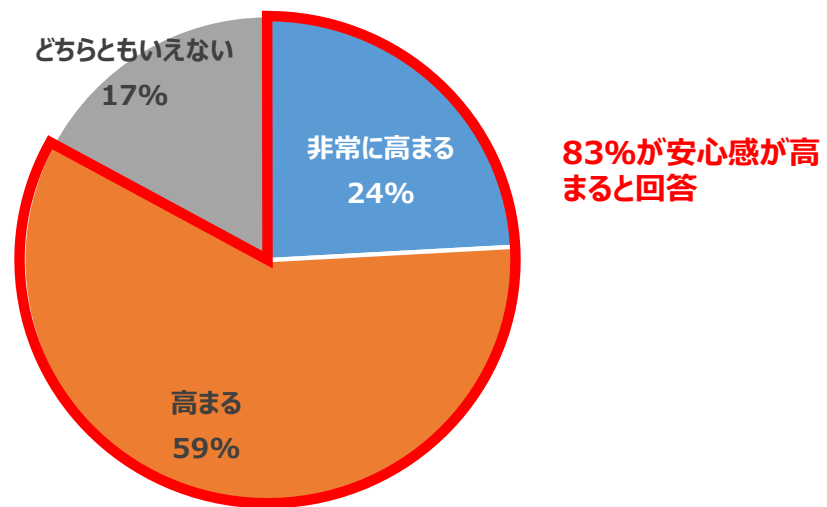
Q:乗車前後で自動運転車両に対する安心感は変わりましたか。(5段階)



※「不安になった」「非常に不安になった」は回答者ゼロ

図 4-44 乗車前後で自動運転車両に対する安心感は変わりましたか(5段階、n=29)

Q: 5 Gを用いた遠隔監視の有無で自動運転車両における安心感は変わりますか。(5段階)

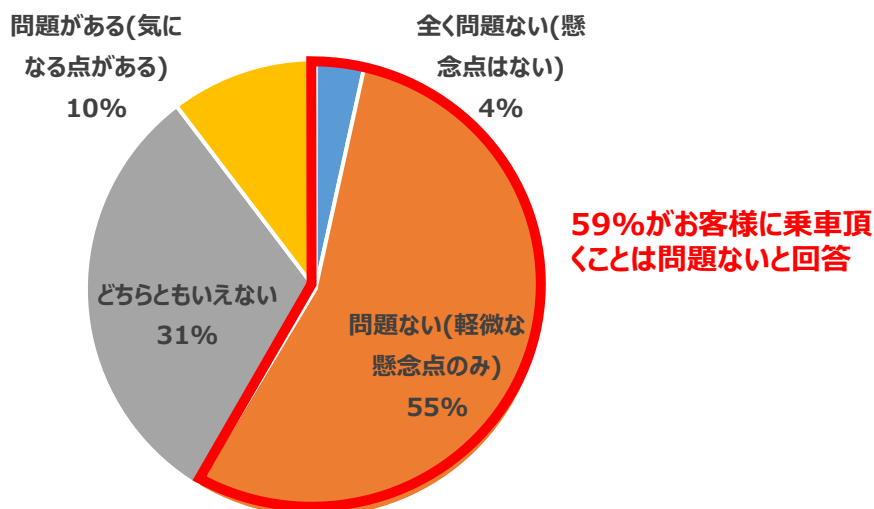


※「不安になる」「非常に不安になる」は回答者ゼロ

図 4-45 5 Gを用いた遠隔監視の有無で自動運転車両における安心感は変わりますか。



Q:お客様に自動運転車両に乗りいただくことに対して、問題ないと思いますか。(5段階)  
また、具体的な懸念事項について記述をお願いします。



※「非常に問題がある」は回答者ゼロ

図 4-46 お客様に自動運転車両に乗りいただくことに対して、問題ないと思いますか。

〈具体的な懸念事項〉

ポジティブなコメント

- ・大きな懸念事項はない 5件
- ・簡易な走行ルートであれば問題ない 3件
- ・安定稼働していた 2件
- ・有人であれば問題ない 2件

懸念事項等に関するコメント

- ・他の GSE 車両からの影響(事故、緊急停止等) 7件
- ・緊急時の体制 4件
- ・お客様サポート(車イス、アナウンス、座席、案内) 4件
- ・通信インフラ 2件
- ・定時運行 2件
- ・停止位置 1件
- ・大型バスでの走行 1件
- ・乗り心地 1件
- ・漠然とした不安 1件

Q:自動運転車両について、不安な点があれば教えてください(複数回答可)

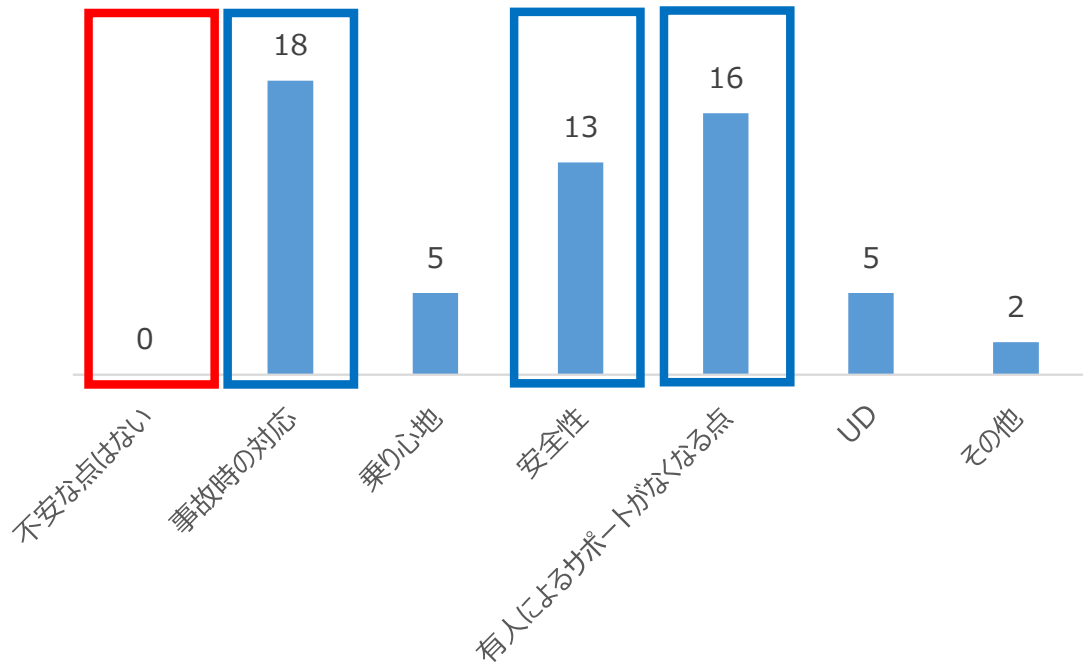


図 4-47 自動運転車両について、不安な点があれば教えてください(複数回答可、n=29)

Q：自動運転バスの運行において気になる点がございましたらご記入お願いします。(記述式)

#### 安全性

- ・イレギュラー対応全般 9件
- ・通信インフラ 8件
- ・停電時の対応 1件

#### 運用

- ・ODD外での運用 4件
- ・運用保守全般 2件
- ・乗客へのケア 2件
- ・運行台数・頻度 1件
- ・交通量が多い時の運行 1件
- ・経済性と安全性の両立 1件

#### 自動運転車両

- ・急停車、障害物検知の精度 2件
- ・自動運転車両間の衝突(多種の車両走行時) 1件

#### その他

- ・自動運転車両以外のドライバーの慣れ 1件

Q：空港管理者の立場で、自動運転バスの運行により空港運用に広く影響をあたえるような事象等気になる点がございましたらご記入お願いします。（記述式）

他ハンドリング会社、航空機への影響

- ・他のGSE等への影響(渋滞、急停車) 9件
- ・定時運航への影響(航空機妨害、乗り継ぎ遅れ) 2件

乗客への影響

- ・乗客対応(アナウンス、停車等トラブルによるストレス) 2件
- ・車両サイズ 1件

その他

- ・サイバーセキュリティ 2件
- ・遠隔監視の精度 1件

■アンケート②：制限区域内ターミナル間連絡バスの運用会社へのアンケート調査  
自動運転の推進について、有意義であり全般的に前向きなコメントを受領しました。  
一方で、懸念事項についてコメントを頂いており、主に以下の観点で指摘を頂戴しまし  
た。

有人ならでの臨機応変な対応

コック操作、駆け込み乗車、汚損、空調・急な天候の変化

顧客サービス

乗車誘導、問合せ対応

保守・バックアップ

部品確保(故障時)、責任分解、緊急時の電力確保、  
緊急時の駆付け対応者の確保(遠隔監視者以外)

保安員・遠隔監視者要件

バックアップ車両の運転資格(大型2種)

自動運転に適したインフラ整備

通信インフラ 等

#### ④ 将来的な経済性に係る見通し(複数台運用した場合、運用委託会社含め)

経済性については、以下の観点の調査を行いました。

本実証を踏まえ、空港制限区域内においてレベル4相当の自動運転バスを導入した場合には、現在の技術を前提に、1:1の遠隔監視では人件費が下がらず、かつ、研究開発費が嵩んでいること、センサー等の価格もまだ十分に下がっていない状況を踏まえると、自動運転そのもののコストも高く、また、ローカル5Gの通信に係るコストも高い状況であり、現状のままでは直ちにコストメリットが出ません。

一方、社会実装フェーズに入ると、研究開発費の減少(回収)や、センサー等の価格の低廉化が進み、更に1:Nの遠隔監視に係るオペレーション等が確立されることで、現行のバスに比肩する程度のコスト感になるタイミングが早晚訪れることが考えられます。例えば、センサー類については、LiDAR製作のVelodyne社は、2017年には17,900ドルであったLiDARの平均単価を2024年には600ドルにまで下げる計画を発表しています。

(<https://velodynelidar.com/wp-content/uploads/2020/07/GRAF-Velodyne-Investor-Presentation.pdf>)

また本実証モデルとして、センサ同様に遠隔型自動運転システムの一部として組み込むローカル5G通信機能についても、技術的な利点はあるものの、こんにちの導入・運用コストが極めて高額で適用障壁となっています。ローカル5Gの社会実装フェーズへ向けた取り組みの一步として、先日NTT東日本はマネージド型ローカル5Gサービス提供を発表しました([https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20220301\\_01.html](https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20220301_01.html))。2021年度導入総コストに対し、2022年度以降サービス提供費を1/5に下げるものです(例:5年1億円程度要していたものを2000万円程度へ低廉化)。特に、1:Nでの遠隔監視の実現にあたっては、想定される通信容量増加に対して、上り通信の比率を高める準同期設定が可能な、低廉化したローカル5Gの活用が期待されます。2025年ごろの自動運転社会実装時には、グローバルでの5G機器普及及び研究開発投資回収が進みさらなる機器低廉化が期待できることとあわせ、その恩恵を受けるために自動運転適用に対して大きなハードウェア要件変更を量産5G機器に対し求めることなく、実適用していくことも肝要であることがわかりました。本実証での汎用5G機器(ローカル5G・キャリア通信)を用いた冗長系機能実装等をふまえ、複数台や走行ルート全域でのキャリア通信とローカル5G通信の冗長系機能実装等の安定運用や障害時の復旧迅速化に向けたソフトウェア開発や他ユースケース共用性等、無線通信の伝搬等による課題をソフトウェアレベルで解決し、ローカル5G構築時の伝搬特徴を踏まえてエリア構築を確立することが進められれば、自動運転センサー等の低廉化に間に合っ、コストの主要因となる5G機器を汎用量産品と大きく変更せず導入でき、キャリアを含むグローバル市場の5G展開に応じたコストメリットを遅滞なく速やかに享受しうる可能性があります。2025年度運用開始までの取り組みにおいて、5G無線通信課題を自動運転システムと一緒にソフトウェアおよび5Gエリア構築で解いて、モデル構築および安全性・信頼性を含む運用ルール等を確立していくことで、5G機器・サービス低廉化の恩恵を受け、より確実な遠隔型自動運転に資するローカル5Gの活用が期待されるものと考えます。

下図は社会実装時(2025年以降の普及想定)と現時点のコスト構造を分析したものです。左から3番目は現在のLv4相当のキャリア通信およびローカル5G冗長系を用いた遠隔型自動運転を示したものです。社会実装時に現行バスコストと同等かつ空港機能拡張時に追加人員を要しないために、5Gによる遠隔機能含む自動運転システムは研究開発費の按分台数増による償却とセンサ・EV等低廉化、1:N遠隔型自動運転の確立、5Gシステムの量産5G機器の自動運転適用による通信費低廉化(ローカル5G+キャリア通信)が経済性確立のためのキードライブであり、これらを考慮し、示しています。

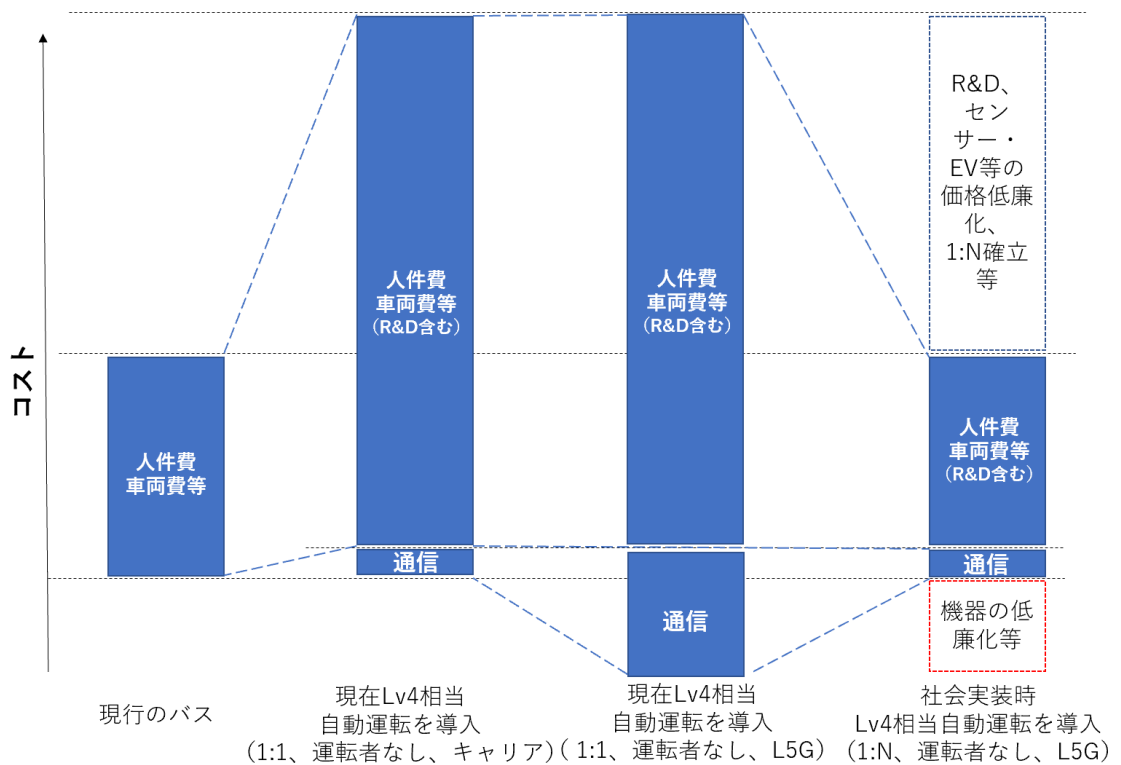


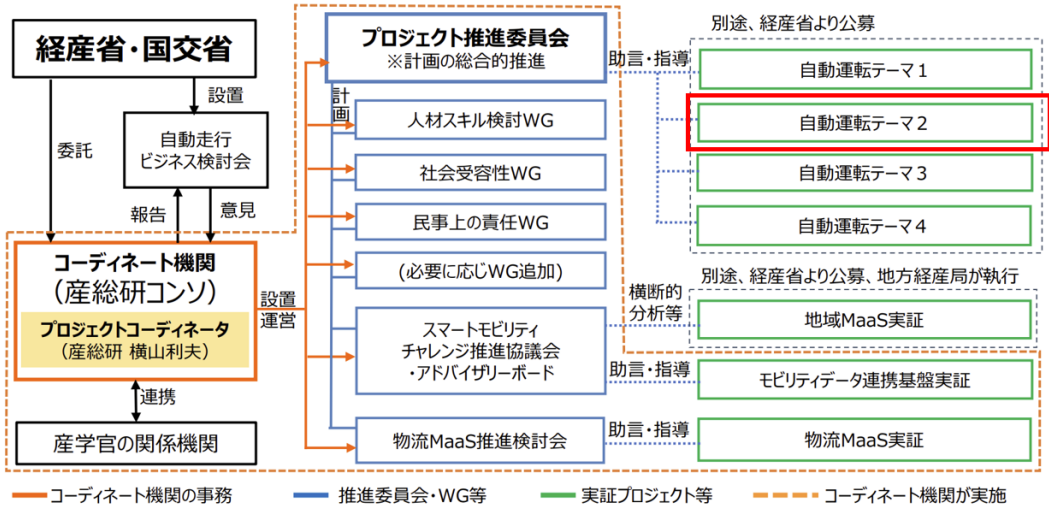
図 4-45 現在と将来のローカル 5 G を活用した自動運転のコスト構造イメージ

なお、自動運転については、車両・インフラ・遠隔の役割分担や市場性等について、経済産業省・国土交通省「RoAD to the L4 テーマ 2 タスクフォース」(座長：東京大学・加藤真平准教授。株式会社ティアフォーが構成員として参画。2021 年度～)において政府・業界一堂に会して検討中であり、今後、この議論の推移を踏まえながら、成田国際空港におけるローカル 5 G を活用した自動運転の経済性の成立についても引き続き検討していきます。

# 1. 「自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト（RoAD to the L4）」 研究開発・社会実装計画 概要

## 実施体制

- 本プロジェクトの総合的調査検討を担う機関（コーディネート機関）に、プロジェクトコーディネータを設置
- プロジェクトコーディネータは、本研究開発・社会実装計画のPDCAを担う  
担当省庁や推進委員会等の意見を聴きつつ、計画書の作成、計画に基づいた各テーマ等の進捗管理を実施

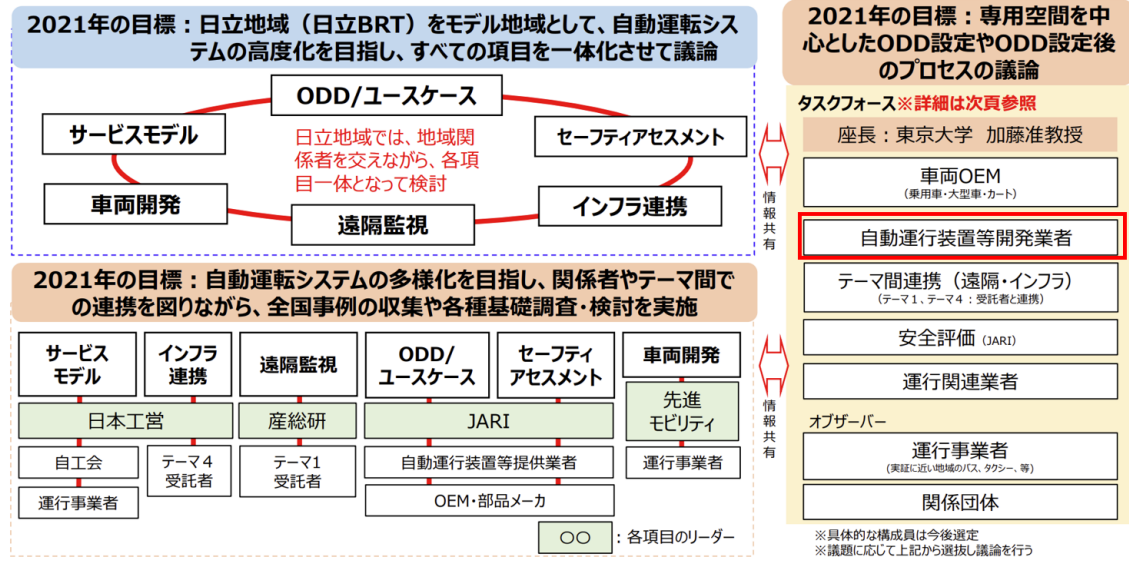


産総研コンソーシアム：産業技術総合研究所 野村総合研究所 日本工営株式会社 三菱総合研究所 (株) テクノバ 豊田通商株式会社

## 3. 検討体制（テーマ2全体）

- ・自動運転システムの高度化と多様化の両輪でプロジェクトを推進する検討体制を構築する。
- ・高度化に向けて、モデル地域である日立BRTを対象に地域関係者を交えながら一体となって検討を進める。
- ・多様化に向けて、タスクフォースでの議論が中心となるが、議論の題材となる全国事例の収集や各種基礎調査・検討は、テーマ2の構成員が中心となって調査・検討を進めていく。

### ■テーマ2の検討体制（案）





## 1. テーマ2の目標・実施方針

・テーマ2の目標達成に向けて、早期で確実に実現していくために、自動運転システムの高度化と多様化の両輪で進めことができる検討体制を構築し、自動運転システム全体の役割分担や安全性、市場性の3つに留意してプロジェクトを推進していく。

### ■テーマ2：さらに、対象エリア、車両を拡大するとともに、事業性を向上するための取組

#### 【将来像】

- 2025年度までに多様なエリアで、多様な車両を用いた無人自動運転サービス（レベル4）を40箇所以上で実現
- 多様なサービスに展開できる事業モデルやインフラ・制度を構築



- 課題①：無人自動運転サービスの導入【レベル2（ドライバー監視）⇒レベル3以上（システム監視）】
- 課題②：5か年という限られた期間でのエリア・車両拡大（地域へ横展開する期間を考慮すると、検討期間は短い）

### ■テーマ2の実施方針

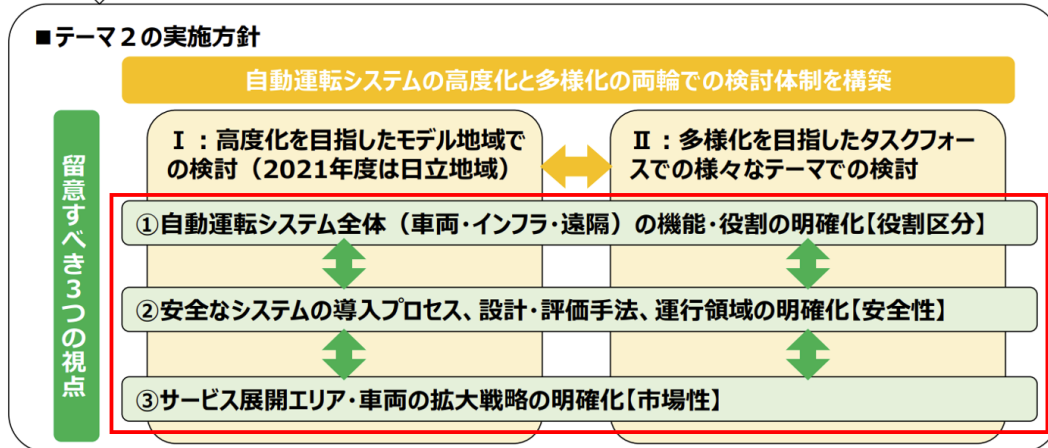


図 4-46 「RoAD to the L4 テーマ2」

2

出所：

[https://www.meti.go.jp/policy/mono\\_info\\_service/mono/automobile/Automated-driving/5\\_yokoyama.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/automobile/Automated-driving/5_yokoyama.pdf)

[https://www.meti.go.jp/policy/mono\\_info\\_service/mono/automobile/Automated-driving/6.2\\_murato.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/automobile/Automated-driving/6.2_murato.pdf)

なお、空港内特殊環境下での遠隔監視における要件は、空港内は一般公道とは ODD (Operational Design Domain=運行設計領域。自動運転システムを開発・設計するうえで、それぞれのシステムが作動する前提となる走行環境条件をいう。) が異なる(一般歩行者の横断・順行・逆走や一般車両の走行などが想定されず、空港内で働くスタッフへの周知によりある程度コントロールが可能であり、ほぼ専用道と同等の扱いが可能でよりシンプル) 要件であることから、4.4.1.1 章(3)②③) 項記載及び4.4.1.2 章に後述のとおり、制限区域内の安全を確保に必要な遠隔監視要件を実証環境において結果を得ました。また、実証環境 3.2 章で記載している構造物や位置候補周辺(再掲：バス停留場はターミナルビルの2階部分を屋根とする屋外環境であり、走行経路はターミナルビルの外縁に沿った屋外環境です。基地局と走行経路の間には、所によりボーディングブリッジや機体による遮蔽があり、屋外ながらも全体の見通しが悪い環境) について、技術実証で着目した測定点のうち走行経路上における遠隔監視の要求仕様に対する網羅性を実機評価し、適用可能性があることを確認し、経済性検討の前提としました。特に空港の特性として、郊外地と開放地の中間的な特性を有すること、複数の航空関係の無線システムを利用していること、制限区域内の連絡バスの遅延はお客様の乗り継ぎ等に多大な影響を及ぼすことから、より遅延性能の安定性に重要性が高いことがあると想定しています。

## ⑤ 国土通省航空局様との調整内容

- ・要調整事項：実験実施計画の内容、遠隔監視に必要な要件についての検討内容等
- ・調整タイミング：「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」及びその WG の開催に先立っての調整や、実証実験の開始前、実証実験後の遠隔監視の要件部分等のとりまとめ時等
- ・調整先：航空局空港技術課 コンソ窓口：ティアフォー
- ・調整方法：上記のタイミングを含め、web ミーティング、電話、メール等で随時相談をしながら調整を実施

本計画に対し、計画策定段階において国土交通省航空局様と以下調整を実施しました。

第一に、国土交通省航空局様主催の空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会の第9回委員会(2021/9/22 オンライン)において以下の報告を実施しました。

「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた実証実験」

## 空港制限区域内における自動走行の実現に向けた実証実験

# 実証実験実施計画

2021年9月22日

成田国際空港株式会社  
東日本電信電話株式会社  
KDDI株式会社  
株式会社ティアフォー

## 実施計画概要

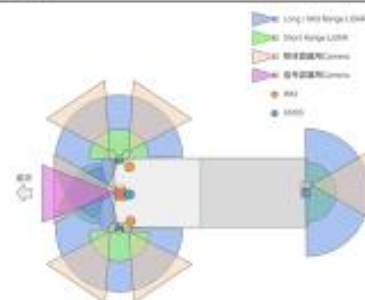
実施目的	ターミナル間連絡バス運転手の人手不足、ヒューマンエラーなどの課題への将来的な解決策の一つとして、5G通信を活用した遠隔監視による無人自動運転に向けた実証実験を実施
実施予定日時	実験準備：2021年10月～1月頃 実証実験：2022年1月～2月頃
使用車両	タジマモーターコーポレーション社製バス “GSM8”を改造 ※ベース車両：タジマモーターコーポレーション、自動運転システム：ティアフォー
実施場所	成田国際空港 制限区域内
走行ルート	第2ターミナル～第3ターミナル
自動運転レベル	レベル4相当に向けた実証実験 走行条件案：自動運転車両優先、高精度三次元地図が整備されていること、強い雨や濃い霧ではないこと、制限速度(15km/h)を遵守すること等
実施者	<ul style="list-style-type: none"> <li>成田国際空港株式会社(実証フィールドの提供等)</li> <li>東日本電信電話株式会社(ローカル5Gの課題検証等)</li> <li>KDDI株式会社(キャリア通信の提供等)</li> <li>株式会社ティアフォー(自動運転車両・遠隔監視システムの提供等)</li> </ul>

## 車両概要

使用車両	タジマモーターコーポレーション社製・GSM8(改造)
乗車定員	原則着席10名まで(オペレーター・ドライバーを除くと最大8名)
全長/全幅/全高(m)	4.84/1.51/2.125
車両重量(kg)	1,350
ハンドル有無	有

### 走行制御技術の概要

- 車両自律型
- 車両制御には、ティアフォーが開発を主導するオープンソースの自動運転ソフトウェア「Autoware」を使用
- 高精度三次元地図とLiDARを用いたスキャンマッチングにより自己位置を推定
- LiDAR・カメラにより障害物等の認知を行うとともに、高精度三次元地図上に引かれたレーンや停止線等に従って走行



### センサ等の概要

- カメラ 物体検知用6基、信号認識カメラ1基、遠隔監視カメラ7基
- LiDAR 8基
- GNSS(全球測位衛星システム) 1基
- IMU(慣性計測装置) 1基



## 走行ルート

実施予定日時	2022年1月～2月頃
実施場所	成田国際空港 制限区域内
走行ルート	第2ターミナル～第3ターミナル(片道約700m)

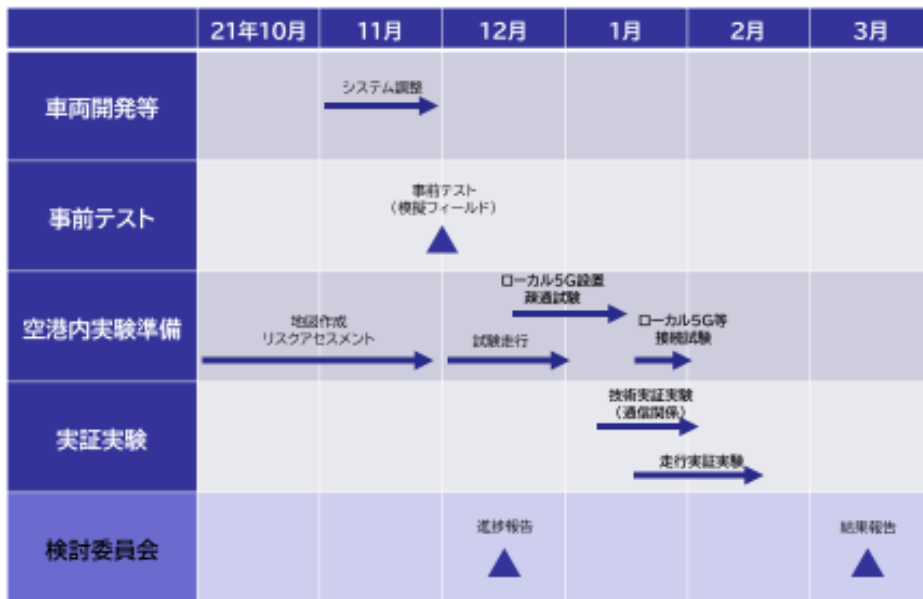


## 検証項目

検証項目	内容	検証事項	検証方法
制限区域内における走行ルールの遵守等	<ul style="list-style-type: none"> <li>レベル4相当に向け、極力手動介入を行わずに自動走行を実施し、空港内の走行ルールに沿った走行を実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>成田国際空港制限エリア内という航空機や搬送車両が多く存在する場所において自己位置推定が正しくできるか、極力手動介入を行わない前提で空港内のルールに沿った運転ができていくか等について検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>自己位置推定が破綻しないかの確認</li> <li>セーフティドライバーが同乗するが、問題があるときは原則としてMRMにより自動停止することとし、非常時以外は操作を実施しない</li> </ul>
遠隔監視・通信	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔から車両の走行状況を監視。発進時には遠隔監視者が安全確認を承認</li> <li>遠隔監視に必要な通信品質の担保等に係る検証を実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔監視・支援想定シーンを模倣し、動作を検証</li> <li>様々な環境下における移動物による通信の遮蔽、電波非干渉影響、走行中のハンドオーバー影響等の調査等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔監視室を設置し、自動走行中は常に監視員によるモニタリング、安全確認を実施。</li> <li>ローカル5G環境を構築するとともに、キャリア通信による冗長性を確保しつつ、必要な通信品質を検証</li> </ul>
関係者の理解	<ul style="list-style-type: none"> <li>旅客やランプ利用者(エアライン、グラハン会社等)、運行委託予定会社の理解・受容性を確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実際に自動運転バスを導入するに当たっては、空港関係者の理解は不可欠であることから、これら関係者の自動運転バスへの理解・不安・要望等を確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>アンケート等を実施</li> </ul>

※本実証実験は、総務省の令和3年度予算事業「課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証（代表機関 東日本電信電話（株））」と連動して実施するものである。 4

## スケジュール(予定)



※本実証実験は、総務省の令和3年度予算事業「課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証（代表機関 東日本電信電話（株））」と連動して実施するものである。

5

上記委員会において、専門委員の先生から以下ご質問いただき、回答しました。

質問) 航空局の実証実験には初めて参加する事業者・車両であると認識しているが、実験に先立って車両の安全テスト等を実施する予定はあるか。

回答) 実証を行うための車両性能を備えているかについては、事前にチェックリストに基づく回答を行う予定である。

第二に、模擬フィールド試験を受検し、国土交通省航空局様から制限区域内で走行する許可を得ました。

空港内の特殊機材（トーパー、ドーリー、コンテナ）を用い、自動運転で安全に走行できる性能を有するか確認（航空局の制限区域内自動運転実証実験に係るチェックリスト 34項目：遠隔から所定の場所で停止、ルールに沿って安全に制御する等）完了しました。

模擬フィールド試験を東京大学柏の葉キャンパス内コースを用いて行い、2022/12/3に全テストを無事完了しました。

例：トーパー（航空機の牽引装置等）を適切に検知し、誤動作なく追従できました。



図 4-48 トーパーの追従走行実験風景

第三に、「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」の下部WGである共通インフラ／運用ルールWGにおいて、アンケートや事前ヒアリング等を通じて、今後のレベル4相当に向けたルールメイキングに寄与してきました。WG及びその中でのやりとりについては非公開ですが、一部は親検討会に報告されています。特に通信については、今後「必要と考える共通インフラ」に関する事業者アンケートに回答し（結果は第10回「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」（2021.12.16）において公表）、そこでは、通信インフラの重要性について回答しております。

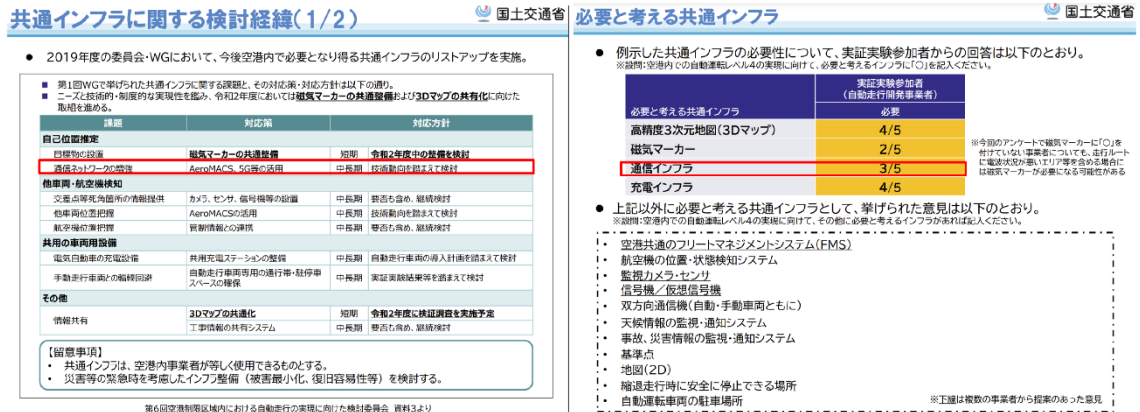


図 4-49 第10回「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」資料

第四に、国土交通省航空局向けにオンラインでの報告会を2022/2/22に実施しました。以下に使用資料を掲載します（総務省向けオンライン報告会使用資料で使用した資料と同じものは割愛）



# 空港制限区域内における自動走行の実現に向けた実証実験 実証実験オンライン報告会

2022年2月22日

成田国際空港株式会社  
東日本電信電話株式会社  
KDDI株式会社  
株式会社ティアフォー

## 本日の流れ

時間	項目	内容
13:30-13:35	開会挨拶 各社紹介 【各社】	各社よりご挨拶 (ティアフォー→NAA→NT 東→KDDI)
13:35-13:45	概要説明 【ティアフォー】	今回の実証実験概要についてご説明
13:45-13:50	動画視聴 【ティアフォー(画面操作)】	動画のご視聴
13:50-14:05	自動運転車両・システム検証内容の説明 【ティアフォー】	車両・システムの解説、実証実験における検証内容の説明
14:05-14:15	ローカル5G / キャリア網の取組説明 【NTT東/KDDI】	L5Gや、キャリア網との冗長構成の意義・取組ご説明
14:15-14:20	今後の展開について 【ティアフォー】	今後の展開についてご説明
14:20-14:45	質疑応答	質疑が終わり次第、時間を待たずに閉会

## 実施計画概要

実施目的	ターミナル間連絡バス運転手の人手不足、ヒューマンエラーなどの課題への将来的な解決策の一つとして、5G通信を活用した遠隔監視による無人自動運転に向けた実証実験を実施
スケジュール	2021年12月3日: 模擬フィールド審査 2022年1月17日: 制限エリア内での準備走行開始 2022年2月14日: 実証実験開始 2022年2月28日: 実証実験終了
使用車両	タジマモーターコーポレーション社製バス “GSM8”を改造 ※ベース車両: タジマモーターコーポレーション、自動運転システム: ティアフォー
実施場所	成田国際空港 制限区域内
走行ルート	第2ターミナル～第3ターミナル 車両通行帯
実験内容	・レベル4相当に向けた実証実験 ・ローカル5G・キャリア通信の冗長化構成での遠隔監視等 (オペレーションテストと通信関連テストを実施)
実施者	・成田国際空港株式会社 (実証フィールドの提供、課題抽出等) ・東日本電信電話株式会社 (ローカル5Gの課題検証等) ・KDDI株式会社 (キャリア通信の提供等) ・株式会社ティアフォー (自動運転車両・遠隔監視システムの提供等)

※総務省の令和3年度予算事業「課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証(代表機関 東日本電信電話(株))」採択案件

## 走行日時・ルート

実施日時	2022年1月17日～2月10日(走行準備期間) 2022年2月14日～2月28日(実証実験) いずれも9:30～17:00の間で実施。メンテナンス等により走行していない日もある。
実施場所	成田国際空港 制限区域内
走行ルート	第2ターミナル～第3ターミナル(片道約700m)

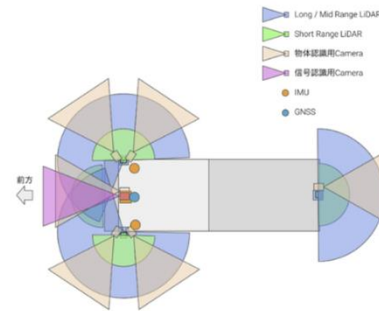


## 車両概要

使用車両	タジマモーターコーポレーション社製・GSM8(改造)
乗車定員	原則着席10名まで(オペレーター・ドライバーを除くと最大8名)
全長/全幅/全高(m)	4.84/1.51/2.125
車両重量(kg)	1,350
ハンドル有無	有

### 走行制御技術の概要

- ・車両自律型
- ・車両制御には、ティアフォーが開発を主導するオープンソースの自動運転ソフトウェア「Autoware」を使用
- ・高精度三次元地図とLiDARを用いたスキャンマッチングにより自己位置を推定
- ・LiDAR・カメラにより障害物等の認知を行うとともに、高精度三次元地図上に引かれたレーンや停止線等に従って走行



### センサ等の概要

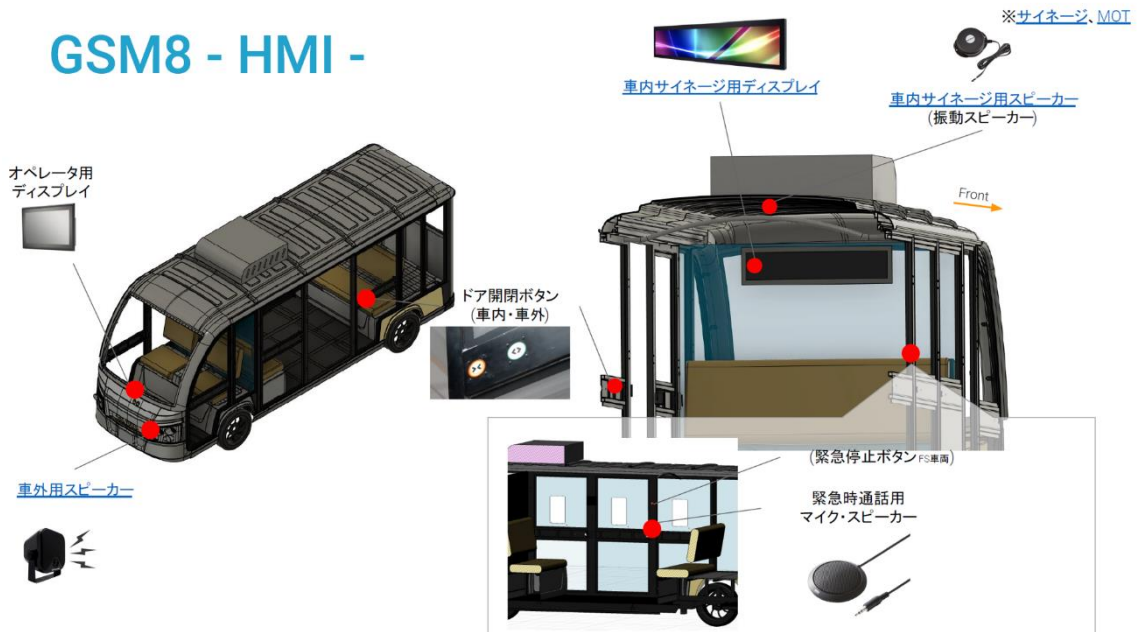
- ・カメラ 物体検知用6基、信号認識カメラ1基、遠隔監視カメラ7基
- ・LiDAR 8基
- ・GNSS(全球測位衛星システム) 1基
- ・IMU(慣性計測装置) 1基

## 実証シナリオ(動画)



# Human-Machine-Interface

## GSM8 - HMI -



## オペレーター使用ツール

### MOT (Maintenance Operator Tool)

※MOT

VehicleName: GSM8\_1  
Battery: 81%  
Status: Engage  
Error: All Green

VehicleName: GSM8\_2  
Battery: 81%  
Status: Engage  
Error: All Green

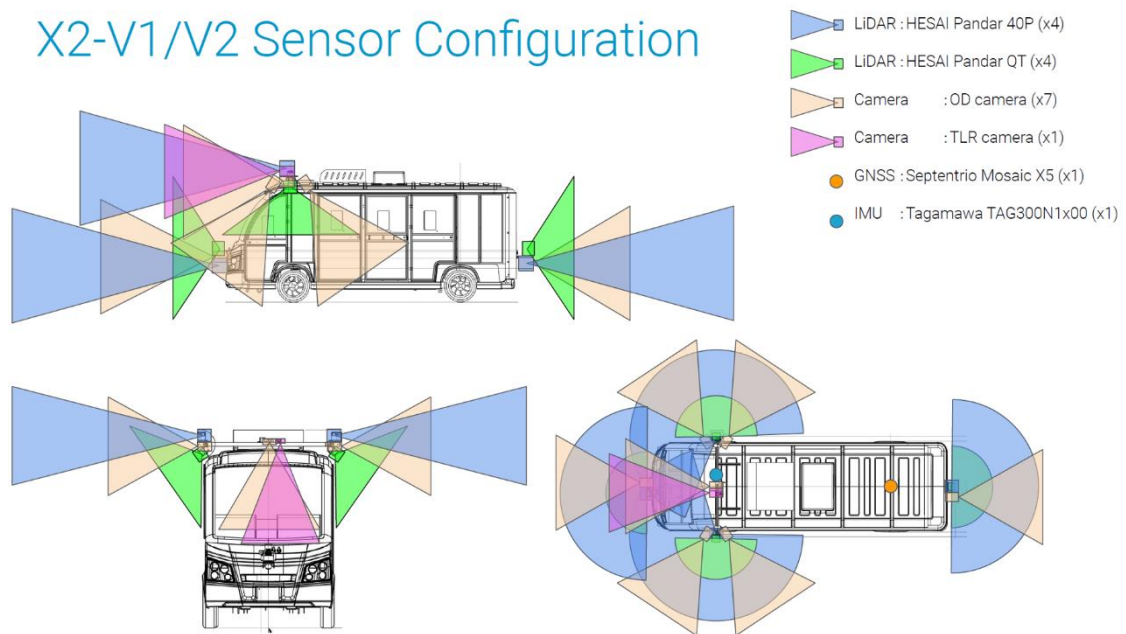
VehicleName: ybt\_ros2\_001  
Battery: 9%  
Status: WaitingForEngage  
Error: All Green

基本的操作は以下

1. Engage/Disengage
2. Pause/Restart
3. 状態可視化
4. (承認指示)

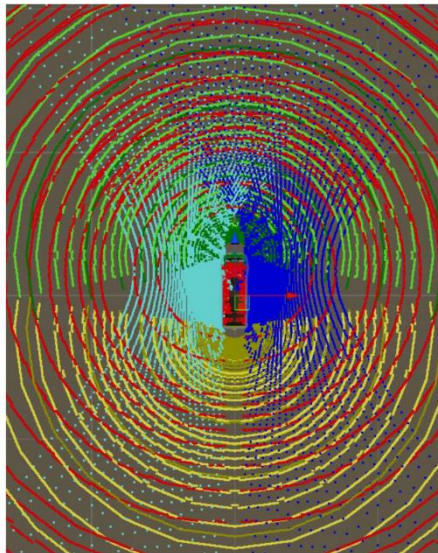
## 車両のセンサー構成

### X2-V1/V2 Sensor Configuration



## 車両のセンサー構成による360度の視野

### X2-V2 LiDAR FOV Simulation



LiDAR	色
Front 40P	<span style="color: green;">█</span>
Front QT	<span style="color: darkgreen;">█</span>
L/R 40P	<span style="color: red;">█</span>
Left QT	<span style="color: cyan;">█</span>
Right QT	<span style="color: blue;">█</span>
Rear 40P	<span style="color: yellow;">█</span>
Rear QT	<span style="color: olive;">█</span>

## 遠隔監視室(成田国際空港第2ターミナル内)



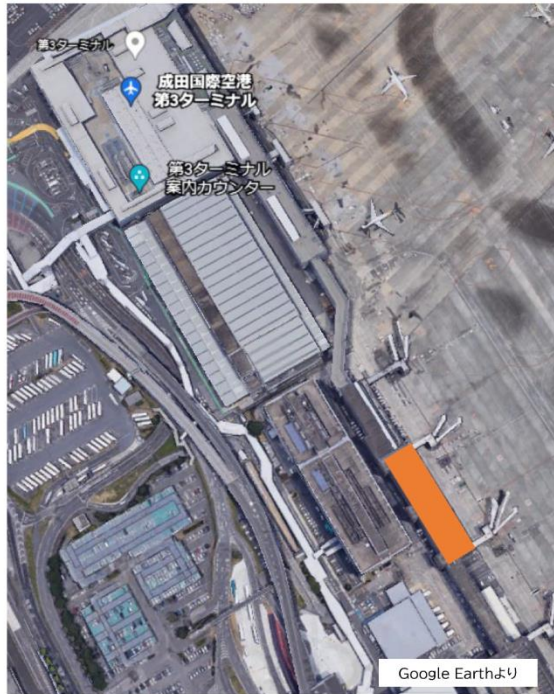
## ローカル5G機材の設置

ボーディングブリッジ上にローカル5G用アンテナを設置



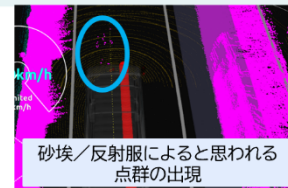
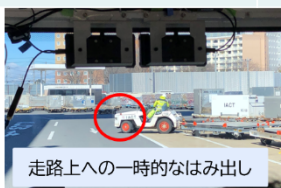
# キャリア5G機材の設置

## 2PTB74番ゲート屋上にアンテナや基地局を設置



## 実証の検証状況(途中経過)【概観】

項目	内容
コロナによる実証への影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>予定されていた試乗会などが実施できなかったことにより、実証コンソ関係者以外によるフィードバックは、ターミナル間バスを運行している成田空港交通様を除き、受けることができなかった。(試乗した方々からのアンケートは集計中。)</li> </ul>
自動運転について	<ul style="list-style-type: none"> <li>オペレーションテストとしては約40km(2/14、16時点)の自動走行を実施(このほか、チューニング等のための準備走行や通信テストでも自動走行実施)。</li> <li>自己位置推定が外れる事象は見られず、自己位置推定は安定。</li> <li>走路上には他車両が停止していたり、GSE機材の扱い等であることがあり、長時間走路上にいる場合には介入をせざるを得ない。他車両の回避に係る自動運転技術は開発しているが、具体的な運用については十分に検討していくことが必要。</li> <li>突如として点群が現れ、障害物と認識される場合があり、砂埃(いわゆる「やち埃」)や制限区域内のスタッフの反射服による光の反射などによる可能性がある。</li> <li>現在は平時に比べて航空便数も旅客も少ないが、航空需要が戻ったときには、乗降も含め、定時性を十分に確保できるオペレーションが必要。</li> </ul>
遠隔監視等について	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔監視、遠隔からのドア開閉・発進・緊急停止は問題なかった。</li> <li>ローカル5Gの大容量・低遅延の通信により、遅延の少ない鮮明な映像での遠隔監視が可能となった。</li> <li>また、キャリア通信との冗長化により、ローカル5Gの通信が途絶しても速やかに遠隔監視を復帰し走行再開することが可能なことを確認。本格的に自動運転車両を導入するに当たり、複数台を遠隔監視する必要が出てくるが、通信はその肝となると考えられる。</li> </ul>



## 実証の検証状況(途中経過)【項目別】

検証項目	概要
車線内での走行	<ul style="list-style-type: none"> <li>問題なく対応できている</li> </ul>
速度制限の遵守	<ul style="list-style-type: none"> <li>問題なく対応できている(15km/hを遵守)</li> </ul>
停止位置での停止	<ul style="list-style-type: none"> <li>問題なく対応できている</li> </ul>
交差点での優先・非優先対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>問題なく対応できている</li> </ul>
コンテナ・路駐車脇などの死角にいる車両への対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>問題なく対応できている</li> </ul>
走路脇・走路内の人・車両への対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>対応できているが、危険があるとき・停止車両があるとき等は介入</li> </ul>
右左折時の対向車線へのはみ出し	<ul style="list-style-type: none"> <li>小型のバスであり、特に大きくはみ出すといったことはない</li> </ul>
遠隔監視等／通信	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔からのドア開閉、発進、緊急停止は問題なく実施</li> <li>ローカル5Gの活用により、鮮明で低遅延な遠隔監視映像を実現</li> <li>通信品質低下時キャリア通信との切り替えにより、遠隔監視を冗長化</li> </ul>
空港関係者へのアンケート	<ul style="list-style-type: none"> <li>コロナの状況を踏まえて、大規模な試乗会等は実施を自粛</li> <li>空港内の関係者のみを対象にアンケートを実施中</li> </ul>
オペレーションテスト (2/14、2/16、2/24、2/25実施予定) 2/14:遠隔からのドア開閉・発進 2/16:上記に加え、遠隔からの緊急停止 2/24、2/25:上記に加え、MRMでの自動停止等を実施予定	<ul style="list-style-type: none"> <li>【2/14、2/16のデータ】</li> <li>自動走行距離: 39.7km(参考: 1/17~2/17: 375.2km)</li> <li>予定していない手動介入: 5回 ※一部運用変更(Uターン方法)の指示があり、手動対応となった部分は除いている。介入は、主に他車両の回避等による。自己位置推定外れによる介入はなし。</li> <li>誤検知・エラー等による急停止等: 0</li> <li>遠隔監視室からのドア開閉、発車、緊急停止は正常に作動</li> </ul>



#### 4.4.1.2 機能検証

##### (1) 評価・検証項目

本評価では、自動運转向け遠隔監視システムとして必要な要件を元に検証項目を下記にまとめます。下表に遠隔監視システムに必要な要件を記載します。尚、当該項目は基準化されていない領域であるため、妥当な基準/KPI の特定を実施したうえで、その設定方法についても検討を行いました。本実証は遠隔操縦ではなく、あくまで自動運転システムが主体である遠隔支援であるためシビアなレイテンシーは求められません。制限速度 15km/h 以下のフィールドにおいて 400ms のカメラ映像の遅延では車両は最大 2.2m ほど進みますが、発進時の安全確認であれば安全マージンをおいて発進指示を出せば許容範囲だと現時点においては考えています。

表 4-17 遠隔監視システムの要求仕様

項目	要求仕様
映像遅延	400msec 以内
画質	フロント画面 HD 画質, その他 VGA 以上
フレームレート (FPS)	9FPS 以上
エリア	ターミナル 3 ~ ターミナル 2 間連絡通路全域

##### (2) 評価・検証方法

本評価項目では映像遅延、画質、フレームレートに分けて記載しました。

映像遅延は、走行経路上に置いた計測地点毎に評価を行います。計測方法は、カメラに時計 (msec 以上の表示された時計) を向け、映像の元となる時計と配信された状態の映像に映る時計の時刻を比較し、配信されたことによる遅延を確認します。

画質の評価は、計測地点毎に要求している画質を超えたかどうかを、実際にシステムを動作し、ログを残す形で評価します。

フレームレートに関しても画質と同様に、計測地点毎に映像配信した際のフレームレートのログを残し、それを元に要求仕様と比較し超えたかどうかを判断しました。

(3) アウトプット

① 画質評価・フレームレート評価

1) ローカル5G単体

要求仕様のフロントHD画質(1280x720)、周囲・車室内画質(640x480)について、ローカル5G網内に設置したMEC型映像配信試験用WebRTCサーバを用いて評価し、全てのルート上地点で下表にて充足することを確認しました。自動運転車実験を開始する前に、弊社にて実験車両を試作し、ルート内700m区間で手動運転にて確認いたしております。ローカル5Gエリア構築、システム及び提供端末で、定量的な評価を完了しました。

実験実施日時：2022/2/17 15:10-15:21

表 4-18 ローカル5G画質伝送評価

項番	地点 番号	ランドマーク	方向	Frame rate [fps]						
				Cam1	Cam2	Cam3	Cam4	Cam5	Cam6	Cam7
		<b>基準値(KPI)</b>		9	9	9	9	9	9	9
		<b>判定</b>		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
1	15	2ビルバス停	北行	30	29	31	14	30	31	32
2	13	2ビルバス停出口	北行	30	30	31	18	31	27	29
3	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	北行	29	30	30	31	30	30	29
4	11	71番スポット	北行	30	30	30	26	30	26	30
5	10	72番スポット	北行	30	30	29	20	31	22	30
6	9	73番スポット	北行	30	30	30	30	30	30	30
7	8	74番スポット	北行	30	30	30	20	29	29	30
8	7	75番スポット (基地局位置)	北行	30	30	30	31	30	29	30
9	6	75番スポット先交差点	北行	31	30	30	29	30	29	30
10	5	154番スポット	北行	29	31	30	20	30	30	29
11	4	153番スポット	北行	30	30	30	20	30	30	30
12	16	3ビルバス停入口	北行	30	30	30	30	29	29	30
13	1	3ビルバス停	北行	30	30	31	14	30	27	30
	17	3ビルUターン	南行	30	30	31	30	30	31	30
	2	151番スポット	南行	30	30	30	30	30	30	30
16	3	152番スポット (基地局位置)	南行	30	30	31	30	29	30	29
17	4	153番スポット	南行	30	30	30	20	30	31	31
18	5	154番スポット	南行	30	30	29	19	31	31	30
19	6	75番スポット先交差点	南行	31	30	29	30	30	30	30
20	7	75番スポット (基地局位置)	南行	30	29	30	29	31	29	30
21	8	74番スポット	南行	30	30	30	28	30	30	30
22	9	73番スポット	南行	30	30	29	28	30	28	31
23	10	72番スポット	南行	29	30	30	20	29	30	31
24	11	71番スポット	南行	30	30	31	34	31	30	30
25	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	南行	30	30	30	28	30	30	32
26	13	2ビルバス停出口	南行	30	30	30	17	30	30	30
27	14	2ビルバス停	南行	31	30	30	30	29	28	30

表 4-19 フレームレート充足確認結果(Cam1)

項番	地点 番号	ランドマーク	方向	bitrate [Kbps]	framerate [fps]	判定	SS-RSRP [dBm]
<b>基準値(KPI)</b>				-	<b>9</b>		
1	15	2ビルバス停	北行	2,589	30	OK	-86
2	13	2ビルバス停出口	北行	2,442	30	OK	-86
3	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	北行	2,511	29	OK	-71
4	11	71番スポット	北行	2,619	30	OK	-82
5	10	72番スポット	北行	2,518	30	OK	-76
6	9	73番スポット	北行	2,522	30	OK	-87
7	8	74番スポット	北行	2,605	30	OK	-79
8	7	75番スポット (基地局位置)	北行	2,514	30	OK	-72
9	6	75番スポット先交差点	北行	2,553	31	OK	-79
10	5	154番スポット	北行	2,536	29	OK	-81
11	4	153番スポット	北行	2,511	30	OK	-76
12	16	3ビルバス停入口	北行	2,442	30	OK	-76
13	1	3ビルバス停	北行	2,464	30	OK	-76
14	17	3ビルUターン場所	南行	2,493	30	OK	-82
15	2	151番スポット	南行	2,495	30	OK	-81
16	3	152番スポット (基地局位置)	南行	2,305	30	OK	-64
17	4	153番スポット	南行	2,559	30	OK	-64
18	5	154番スポット	南行	2,423	30	OK	-65
19	6	75番スポット先交差点	南行	2,513	31	OK	-71
20	7	75番スポット (基地局位置)	南行	2,471	30	OK	-72
21	8	74番スポット	南行	2,472	30	OK	-67
22	9	73番スポット	南行	2,515	30	OK	-80
23	10	72番スポット	南行	2,565	29	OK	-80
24	11	71番スポット	南行	2,090	30	OK	-80
25	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	南行	2,478	30	OK	-78
26	13	2ビルバス停出口	南行	2,482	30	OK	-78
27	14	2ビルバス停	南行	2,355	31	OK	-90

表 4-20 フレームレート充足確認結果(Cam2)

項番	地点 番号	ランドマーク	方向	bitrate [Kbps]	framerate [fps]	判定	SS-RSRP [dBm]
<b>基準値(KPI)</b>				-	<b>9</b>		
1	15	2ビルバス停	北行	2,515	29	OK	-86
2	13	2ビルバス停出口	北行	2,539	30	OK	-86
3	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	北行	2,525	30	OK	-71
4	11	71番スポット	北行	2,544	30	OK	-82
5	10	72番スポット	北行	2,507	30	OK	-76
6	9	73番スポット	北行	2,440	30	OK	-87
7	8	74番スポット	北行	2,667	30	OK	-79
8	7	75番スポット (基地局位置)	北行	2,516	30	OK	-72
9	6	75番スポット先交差点	北行	2,558	30	OK	-79
10	5	154番スポット	北行	2,436	31	OK	-81
11	4	153番スポット	北行	2,509	30	OK	-76
12	16	3ビルバス停入口	北行	2,502	30	OK	-76
13	1	3ビルバス停	北行	2,466	30	OK	-76
14	17	3ビルUターン場所	南行	2,504	30	OK	-82
15	2	151番スポット	南行	2,431	30	OK	-81
16	3	152番スポット (基地局位置)	南行	2,526	30	OK	-64
17	4	153番スポット	南行	2,463	30	OK	-64
18	5	154番スポット	南行	2,479	30	OK	-65
19	6	75番スポット先交差点	南行	2,534	30	OK	-71
20	7	75番スポット (基地局位置)	南行	2,201	29	OK	-72
21	8	74番スポット	南行	2,547	30	OK	-67
22	9	73番スポット	南行	2,556	30	OK	-80
23	10	72番スポット	南行	2,444	30	OK	-80
24	11	71番スポット	南行	2,567	30	OK	-80
25	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	南行	2,679	30	OK	-78
26	13	2ビルバス停出口	南行	2,514	30	OK	-78
27	14	2ビルバス停	南行	1,836	30	OK	-90

表 4-21 フレームレート充足確認結果(Cam3)

項番	地点 番号	ランドマーク	方向	bitrate [Kbps]	framerate [fps]	判定	SS-RSRP [dBm]
<b>基準値(KPI)</b>				-	<b>9</b>		
1	15	2ビルバス停	北行	2,487	31	OK	-86
2	13	2ビルバス停出口	北行	2,552	31	OK	-86
3	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	北行	2,491	30	OK	-71
4	11	71番スポット	北行	2,454	30	OK	-82
5	10	72番スポット	北行	2,583	29	OK	-76
6	9	73番スポット	北行	2,513	30	OK	-87
7	8	74番スポット	北行	2,437	30	OK	-79
8	7	75番スポット (基地局位置)	北行	2,514	30	OK	-72
9	6	75番スポット先交差点	北行	2,543	30	OK	-79
10	5	154番スポット	北行	2,487	30	OK	-81
11	4	153番スポット	北行	2,570	30	OK	-76
12	16	3ビルバス停入口	北行	2,550	30	OK	-76
13	1	3ビルバス停	北行	2,585	31	OK	-76
14	17	3ビルUターン場所	南行	2,534	31	OK	-82
15	2	151番スポット	南行	2,472	30	OK	-81
16	3	152番スポット (基地局位置)	南行	2,453	31	OK	-64
17	4	153番スポット	南行	2,502	30	OK	-64
18	5	154番スポット	南行	2,529	29	OK	-65
19	6	75番スポット先交差点	南行	2,478	29	OK	-71
20	7	75番スポット (基地局位置)	南行	2,544	30	OK	-72
21	8	74番スポット	南行	2,523	30	OK	-67
22	9	73番スポット	南行	2,569	29	OK	-80
23	10	72番スポット	南行	2,525	30	OK	-80
24	11	71番スポット	南行	1,304	31	OK	-80
25	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	南行	2,545	30	OK	-78
26	13	2ビルバス停出口	南行	2,501	30		-78
27	14	2ビルバス停	南行	2,401	30		-90

表 4-22 フレームレート充足確認結果(Cam4)

項番	地点 番号	ランドマーク	方向	bitrate [Kbps]	framerate [fps]	判定	SS-RSRP [dBm]
基準値(KPI)				-	9		
1	15	2ビルバス停	北行	2,438	14	OK	-86
2	13	2ビルバス停出口	北行	3,205	18	OK	-86
3	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	北行	2,497	31	OK	-71
4	11	71番スポット	北行	942	26	OK	-82
5	10	72番スポット	北行	1,781	20	OK	-76
6	9	73番スポット	北行	2,481	30	OK	-87
7	8	74番スポット	北行	1,732	20	OK	-79
8	7	75番スポット (基地局位置)	北行	2,522	31	OK	-72
9	6	75番スポット先交差点	北行	2,525	29	OK	-79
10	5	154番スポット	北行	1,900	20	OK	-81
11	4	153番スポット	北行	1,491	20	OK	-76
12	16	3ビルバス停入口	北行	2,362	30	OK	-76
13	1	3ビルバス停	北行	1,162	14	OK	-76
14	17	3ビルUターン場所	南行	2,540	30	OK	-82
15	2	151番スポット	南行	2,451	30	OK	-81
16	3	152番スポット (基地局位置)	南行	2,486	30	OK	-64
17	4	153番スポット	南行	1,680	20	OK	-64
18	5	154番スポット	南行	1,654	19	OK	-65
19	6	75番スポット先交差点	南行	2,488	30	OK	-71
20	7	75番スポット (基地局位置)	南行	2,404	29	OK	-72
21	8	74番スポット	南行	2,400	28	OK	-67
22	9	73番スポット	南行	2,355	28	OK	-80
23	10	72番スポット	南行	1,622	20	OK	-80
24	11	71番スポット	南行	2,794	34	OK	-80
25	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	南行	2,258	28	OK	-78
26	13	2ビルバス停出口	南行	1,468	17		-78
27	14	2ビルバス停	南行	2,442	30		-90

表 4-23 フレームレート充足確認結果(Cam5)

項番	地点 番号	ランドマーク	方向	bitrate [Kbps]	framerate [fps]	判定	SS-RSRP [dBm]
<b>基準値(KPI)</b>				-	<b>9</b>		
1	15	2ビルバス停	北行	2,525	30	OK	-86
2	13	2ビルバス停出口	北行	2,549	31	OK	-86
3	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	北行	2,572	30	OK	-71
4	11	71番スポット	北行	2,501	30	OK	-82
5	10	72番スポット	北行	2,482	31	OK	-76
6	9	73番スポット	北行	2,532	30	OK	-87
7	8	74番スポット	北行	2,361	29	OK	-79
8	7	75番スポット (基地局位置)	北行	2,471	30	OK	-72
9	6	75番スポット先交差点	北行	2,525	30	OK	-79
10	5	154番スポット	北行	2,483	30	OK	-81
11	4	153番スポット	北行	2,455	30	OK	-76
12	16	3ビルバス停入口	北行	2,525	29	OK	-76
13	1	3ビルバス停	北行	2,533	30	OK	-76
14	17	3ビルUターン場所	南行	2,546	30	OK	-82
15	2	151番スポット	南行	2,467	30	OK	-81
16	3	152番スポット (基地局位置)	南行	2,637	29	OK	-64
17	4	153番スポット	南行	2,551	30	OK	-64
18	5	154番スポット	南行	2,533	31	OK	-65
19	6	75番スポット先交差点	南行	2,525	30	OK	-71
20	7	75番スポット (基地局位置)	南行	2,482	31	OK	-72
21	8	74番スポット	南行	2,564	30	OK	-67
22	9	73番スポット	南行	2,545	30	OK	-80
23	10	72番スポット	南行	2,402	29	OK	-80
24	11	71番スポット	南行	2,513	31	OK	-80
25	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	南行	2,519	30	OK	-78
26	13	2ビルバス停出口	南行	2,564	30		-78
27	14	2ビルバス停	南行	2,461	29		-90

表 4-24 フレームレート充足確認結果(Cam6)

項番	地点 番号	ランドマーク	方向	bitrate [Kbps]	framerate [fps]	判定	SS-RSRP [dBm]
基準値(KPI)				-	9		
1	15	2ビルバス停	北行	2,429	31	OK	-86
2	13	2ビルバス停出口	北行	2,447	27	OK	-86
3	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	北行	2,491	30	OK	-71
4	11	71番スポット	北行	1,710	26	OK	-82
5	10	72番スポット	北行	2,494	22	OK	-76
6	9	73番スポット	北行	2,644	30	OK	-87
7	8	74番スポット	北行	2,330	29	OK	-79
8	7	75番スポット (基地局位置)	北行	2,441	29	OK	-72
9	6	75番スポット先交差点	北行	1,722	29	OK	-79
10	5	154番スポット	北行	2,199	30	OK	-81
11	4	153番スポット	北行	2,541	30	OK	-76
12	16	3ビルバス停入口	北行	2,440	29	OK	-76
13	1	3ビルバス停	北行	1,896	27	OK	-76
14	17	3ビルUターン場所	南行	1,353	31	OK	-82
15	2	151番スポット	南行	2,508	30	OK	-81
16	3	152番スポット (基地局位置)	南行	2,502	30	OK	-64
17	4	153番スポット	南行	2,500	31	OK	-64
18	5	154番スポット	南行	2,681	31	OK	-65
19	6	75番スポット先交差点	南行	2,542	30	OK	-71
20	7	75番スポット (基地局位置)	南行	2,622	29	OK	-72
21	8	74番スポット	南行	2,410	30	OK	-67
22	9	73番スポット	南行	1,965	28	OK	-80
23	10	72番スポット	南行	2,659	30	OK	-80
24	11	71番スポット	南行	2,492	30	OK	-80
25	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	南行	2,419	30	OK	-78
26	13	2ビルバス停出口	南行	2,578	30	OK	-78
27	14	2ビルバス停	南行	2,603	28	OK	-90



表 4-25 フレームレート充足確認結果(Cam7)

項番	地点 番号	ランドマーク	方向	bitrate [Kbps]	framerate [fps]	判定	SS-RSRP [dBm]
基準値(KPI)				-	9		
1	15	2ビルバス停	北行	1,824	32	OK	-86
2	13	2ビルバス停出口	北行	2,050	29	OK	-86
3	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	北行	2,445	29	OK	-71
4	11	71番スポット	北行	2,499	30	OK	-82
5	10	72番スポット	北行	2,516	30	OK	-76
6	9	73番スポット	北行	1,803	30	OK	-87
7	8	74番スポット	北行	2,480	30	OK	-79
8	7	75番スポット (基地局位置)	北行	2,544	30	OK	-72
9	6	75番スポット先交差点	北行	2,464	30	OK	-79
10	5	154番スポット	北行	2,452	29	OK	-81
11	4	153番スポット	北行	2,491	30	OK	-76
12	16	3ビルバス停入口	北行	2,505	30	OK	-76
13	1	3ビルバス停	北行	2,565	30	OK	-76
14	17	3ビルUターン場所	南行	2,421	30	OK	-82
15	2	151番スポット	南行	2,490	30	OK	-81
16	3	152番スポット (基地局位置)	南行	2,564	29	OK	-64
17	4	153番スポット	南行	2,506	31	OK	-64
18	5	154番スポット	南行	2,433	30	OK	-65
19	6	75番スポット先交差点	南行	2,467	30	OK	-71
20	7	75番スポット (基地局位置)	南行	2,519	30	OK	-72
21	8	74番スポット	南行	2,556	30	OK	-67
22	9	73番スポット	南行	2,513	31	OK	-80
23	10	72番スポット	南行	2,583	31	OK	-80
24	11	71番スポット	南行	2,499	30	OK	-80
25	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	南行	2,489	32	OK	-78
26	13	2ビルバス停出口	南行	2,451	30	OK	-78
27	14	2ビルバス停	南行	2,102	30	OK	-90

### 時系列データにおける評価

走行区間の全てにおいて、赤線を全てのカメラについて上回っている。KPI 目標値を上回っていることを確認しました。

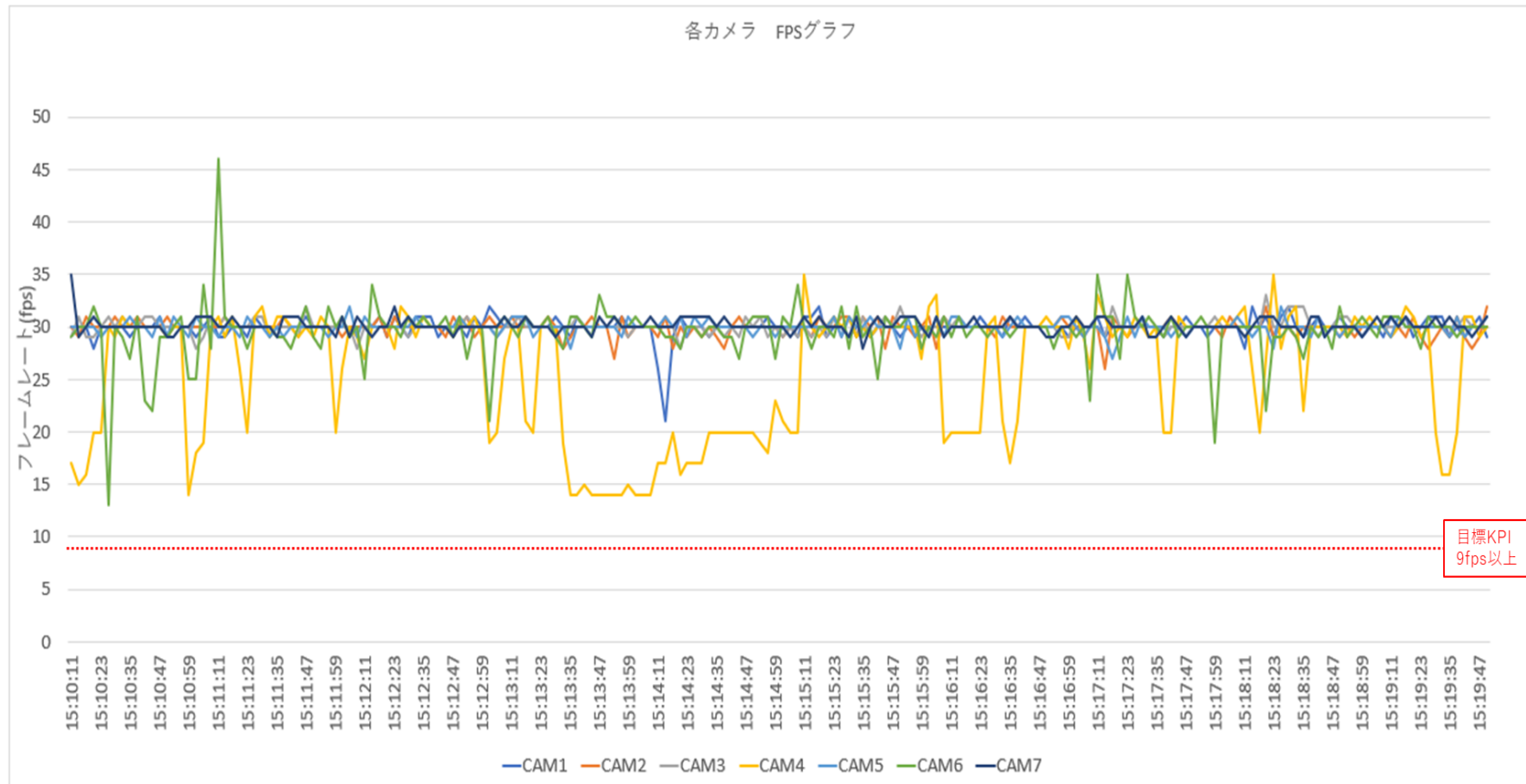


図 4-50 走行中すべての時間でフレームレート KPI 達成・遅延値 60msec 以下

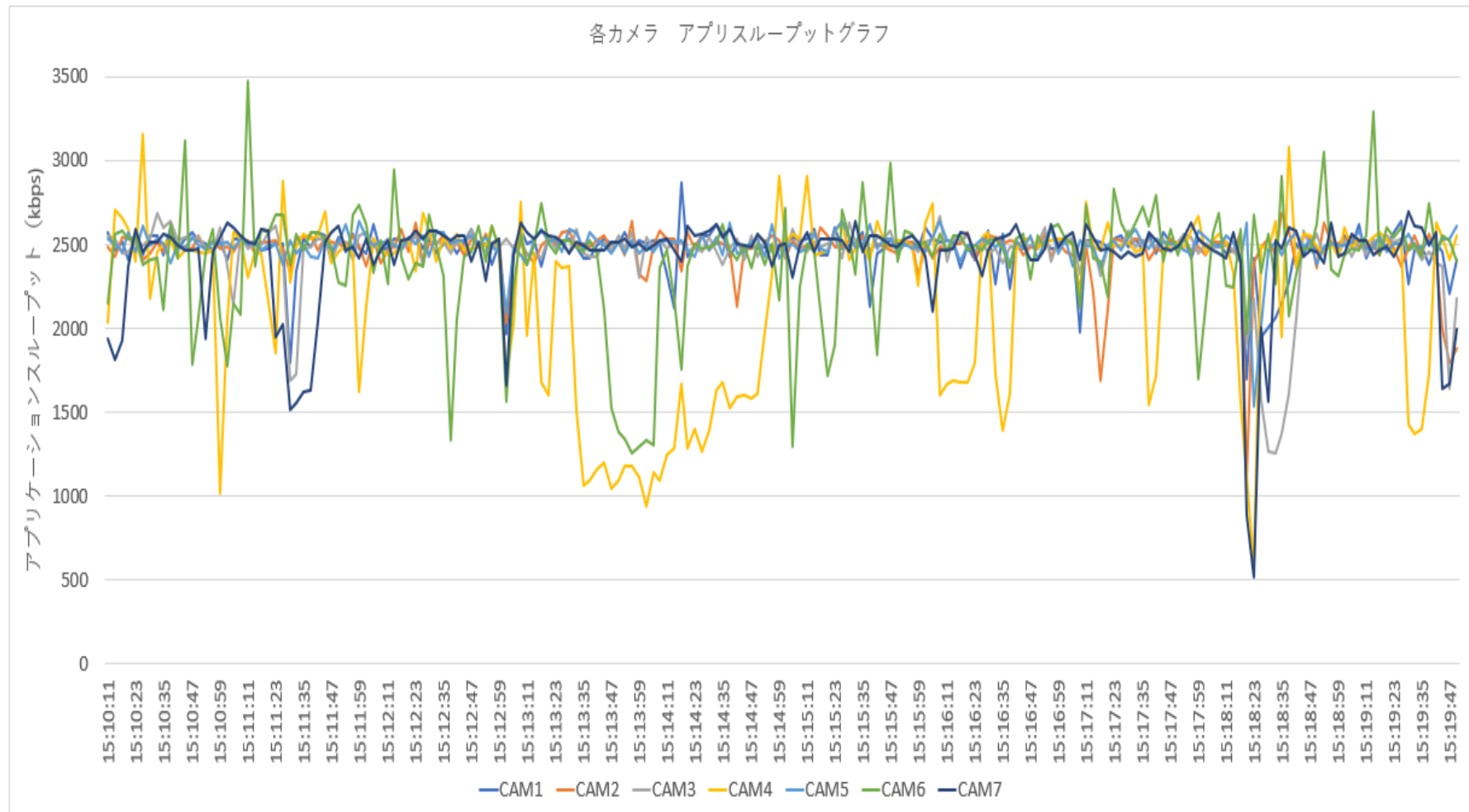
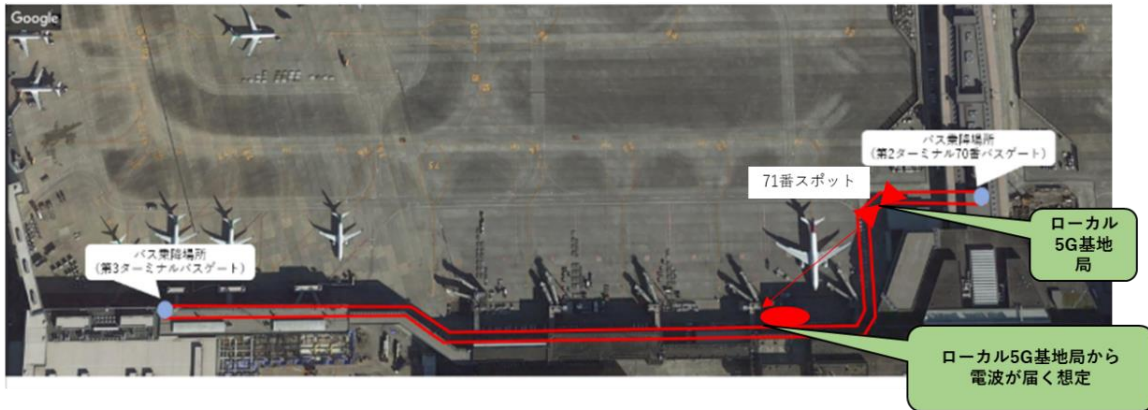


図 4-51 各カメラのスループット

また補足として、飛行機の駐機状態（例：71番スポットの駐機状態）により、飛行機が駐機時に飛行機がルート上走行時において一部電波の遮蔽物になる可能性を現地走行中に視認しました。この懸念が無いことを確認するため、実際に飛行機の駐機状態の有無が目標 KPI 値（9fps 以上）に影響するかどうかを念のため確認しました。下図に概念図を示します。

飛行機が少ないパターン



飛行機が多いパターン（71番スポット駐機）

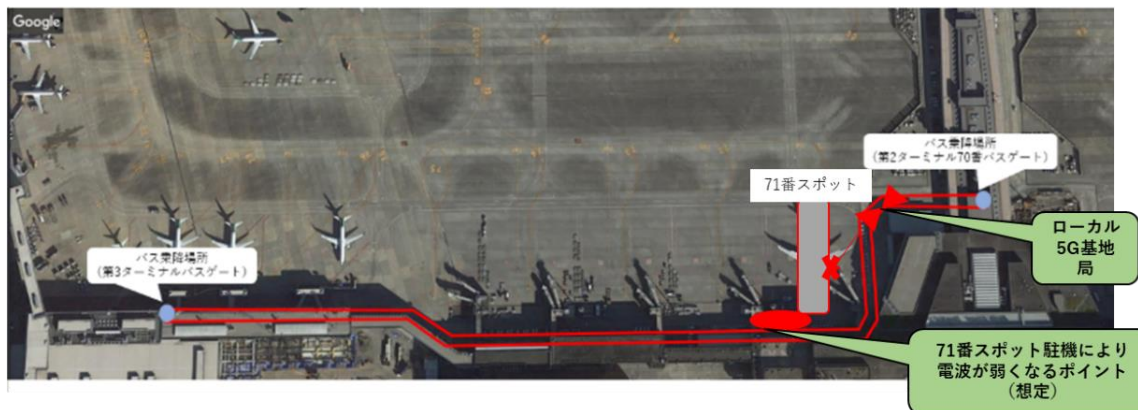


図 4-52 飛行機駐機状態における KPI 充足確認パターン

i. 飛行機の駐機状態が少ないパターン

観測日時 2022/2/17 15:25-15:36

飛行機の駐機状態は、以下のとおりです。

表 4-26 少ない駐機状態 (パターン②)

駐機スポット No	71	72	73	74	75	154	153	152	151
駐機有無	×	×	×	○	○	×	○	×	○

凡例：○駐機状態、×：駐機なし

・実験結果：

スループット、フレームレートについて十分余裕をもって KPI 充足できていることを確認しました。

表 4-27 少ない駐機状態 (パターン②) における KPI 充足確認

地点番号	ランドマーク	方向	UL Throughput [Mbps]	Frame rate [fps]							SS-RSRP [dBm]
				Cam1	Cam2	Cam3	Cam4	Cam5	Cam6	Cam7	
<b>基準値(KPI)</b>			<b>35</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	
<b>判定</b>			<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	
15	2ビルバス停	北行	71	30	29	31	15	30	27	28	-86
13	2ビルバス停出口	北行	105	30	31	30	15	31	30	30	-86
12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	北行	111	30	30	31	30	31	30	31	-71
11	71番スポット	北行	94	30	30	29	20	29	29	31	-93
10	72番スポット	北行	66	31	29	31	21	30	29	30	-76
9	73番スポット	北行	88	30	30	30	22	30	26	30	-87
8	74番スポット	北行	93	30	32	30	20	29	30	30	-79
7	75番スポット (基地局位置)	北行	110	31	30	29	30	29	30	29	-72
6	75番スポット先交差点	北行	106	32	30	32	30	30	31	30	-79
5	154番スポット	北行	90	30	27	30	18	30	24	30	-81
4	153番スポット	北行	115	30	30	32	19	31	30	30	-76
16	3ビルバス停入口	北行	114	31	30	30	20	30	30	29	-76
1	3ビルバス停	北行	100	28	30	30	15	30	30	30	-76
17	3ビルUターン	南行	90	30	29	31	30	30	30	31	-76
2	151番スポット	南行	108	30	29	30	30	32	32	30	-81
3	152番スポット (基地局位置)	南行	114	30	29	31	26	30	30	30	-64
4	153番スポット	南行	114	30	29	30	32	30	31	30	-64
5	154番スポット	南行	114	30	30	30	28	30	30	29	-65
6	75番スポット先交差点	南行	104	31	31	30	31	29	28	30	-71
7	75番スポット (基地局位置)	南行	103	29	30	30	31	30	27	31	-72
8	74番スポット	南行	111	29	30	30	27	31	31	31	-67
9	73番スポット	南行	107	30	30	30	29	31	29	30	-80
10	72番スポット	南行	80	30	30	30	30	30	28	30	-80
11	71番スポット	南行	73	30	30	30	31	31	31	29	-80
12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	南行	91	30	30	31	30	30	31	29	-78
13	2ビルバス停出口	南行	91	30	31	30	18	30	30	30	-78
14	2ビルバス停	南行	47	30	29	30	26	31	9	30	-90

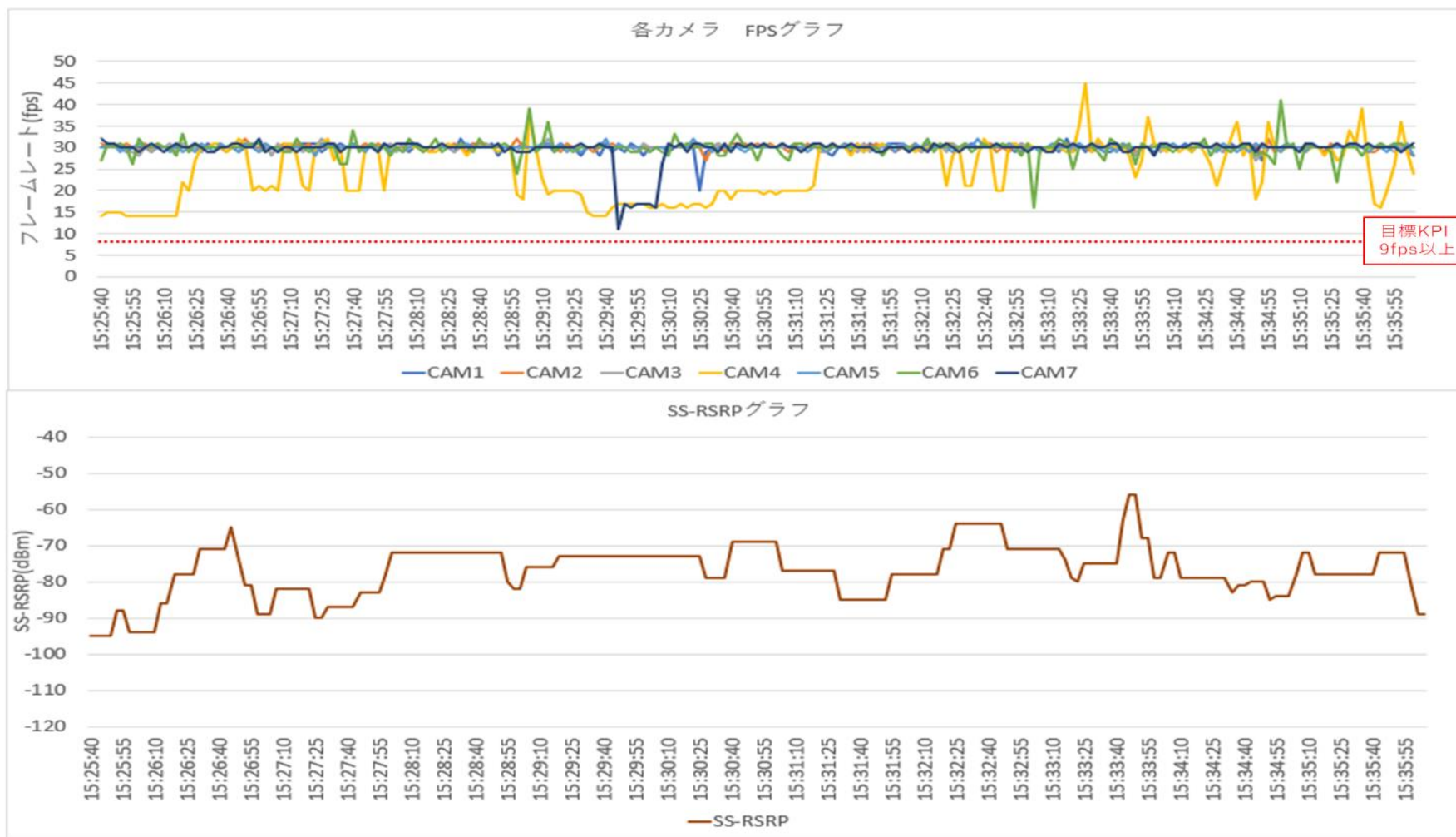


図 4-53 各カメラのフレームレートおよび SS-RSRP のグラフ

ii. 飛行機の駐機状態が多いパターン

観測日時 2022/2/25 10:35:33-10:51:33

北向き走行 10:35:33-10:39:20

南抜き走行 10:45:25-10:51:33

北向き進行時 (2ビル→3ビル) の飛行機の駐機状態は、以下の通りです。

表 4-28 北向き駐機状態 (2022/2/25 10:35 頃)

駐機スポット No	71	72	73	74	75	154	153	152	151
駐機有無	○	○	○	○	×	○	×	×	○

凡例：○駐機状態、×：駐機なし

南抜き進行時 (3ビル→2ビル) の飛行機の駐機状態は、以下の通りです。

表 4-29 南向き駐機状態 (2022/2/25 10:35 頃)

駐機スポット No	71	72	73	74	75	154	153	152	151
駐機有無	○	×	○	×	×	○	×	×	○

凡例：○駐機状態、×：駐機なし

表 4-30 飛行機の駐機状態が多いパターンにおける KPI 達成確認

地点番号	ランドマーク	方向	UL Throughput [Mbps]	Frame rate [fps]							SS-RSRP [dBm]
				Cam1	Cam2	Cam3	Cam4	Cam5	Cam6	Cam7	
<b>基準値(KPI)</b>			<b>35</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	
<b>判定</b>			<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	
15	2ビルバス停	北行	71	31	31	30	30	30	31	30	-86
13	2ビルバス停出口	北行	105	30	31	30	30	30	31	29	-86
12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	北行	111	31	31	29	30	30	30	31	-71
11	71番スポット	北行	94	29	32	30	30	30	28	31	-93
10	72番スポット	北行	66	30	30	30	30	30	28	30	-76
9	73番スポット	北行	88	30	37	30	29	31	31	32	-87
8	74番スポット	北行	93	29	28	30	31	30	31	38	-79
7	75番スポット (基地局位置)	北行	110	29	30	30	31	30	30	30	-72
6	75番スポット先交差点	北行	106	29	30	30	28	30	30	30	-79
5	154番スポット	北行	90	30	30	30	31	31	29	30	-81
4	153番スポット	北行	115	30	30	31	30	30	30	30	-76
16	3ビルバス停入口	北行	114	30	32	30	30	29	30	30	-76
1	3ビルバス停	北行	100	30	30	30	30	30	29	29	-76
17	3ビルUターン	南行	90	28	33	31	31	29	28	31	-76
2	151番スポット	南行	108	30	30	30	30	30	29	32	-81
3	152番スポット (基地局位置)	南行	114	30	28	29	30	31	30	29	-64
4	153番スポット	南行	114	30	28	31	30	29	29	30	-64
5	154番スポット	南行	114	30	30	29	30	30	29	31	-65
6	75番スポット先交差点	南行	104	30	30	31	31	31	30	30	-71
7	75番スポット (基地局位置)	南行	103	29	30	31	30	30	30	29	-72
8	74番スポット	南行	111	30	30	30	31	30	29	29	-67
9	73番スポット	南行	107	31	31	30	30	29	30	31	-80
10	72番スポット	南行	80	30	24	30	31	30	30	31	-80
11	71番スポット	南行	73	29	38	30	30	30	30	31	-80
12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	南行	91	30	30	30	29	28	30	31	-78
13	2ビルバス停出口	南行	91	31	31	30	30	30	30	30	-78
14	2ビルバス停	南行	47	32	18	29	28	29	30	29	-90



図 4-54 各カメラのフレームレートおよび SS-RSRP のグラフ



2) キャリア通信単体

表 4-31 キャリア 5G 画質伝送評価

項番	地点 番号	ランドマーク	方向	framerate[fps]						
				Cam1	Cam2	Cam3	Cam4	Cam5	Cam6	Cam7
<b>基準値(KPI)</b>				<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>
<b>判定</b>				<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>
1	15	2ビルバス停	北行	20	10	10	9	10	10	10
2	13	2ビル進入時	北行	23	10	10	10	9	9	10
3	12	70スポット交差点	北行	24	10	9	9	10	9	9
4	11	71スポット	北行	23	9	9	10	9	9	9
5	10	72スポット	北行	21	10	9	9	9	9	9
6	9	73スポット	北行	24	9	10	10	9	9	10
7	8	74スポット	北行	21	10	9	10	10	10	9
8	7	75スポット	北行	25	9	9	9	10	9	10
9	6	75スポット交差点	北行	22	10	9	10	10	10	10
10	5	154スポット	北行	22	9	10	9	10	9	9
11	4	153スポット	北行	24	9	11	9	9	9	10
12	16	第3ビル建物下進入時	北行	23	10	9	10	9	9	9
13	1	3ビルバス停	北行	24	9	9	10	9	10	9
14	17	3ビルUターン	南行	25	9	10	10	9	9	10
15	2	151スポット	南行	23	10	9	9	9	9	9
16	3	152スポット	南行	23	9	10	9	9	9	9
17	4	153スポット	南行	24	10	9	10	9	9	9
18	5	154スポット	南行	22	9	9	10	10	10	9
19	6	75スポット交差点	南行	26	9	9	10	10	9	9
20	7	75スポット	南行	25	9	9	10	9	9	10
21	8	74スポット	南行	27	10	10	9	11	10	9
22	9	73スポット	南行	23	9	10	9	10	9	9
23	10	72スポット	南行	24	9	10	9	10	10	11
24	11	71スポット	南行	22	9	10	9	9	10	9
25	12	70スポット交差点	南行	26	9	10	9	10	9	9
26	13	2ビル進入時	南行	25	9	10	9	9	9	9
27	14	61交差点	南行	20	9	9	9	10	9	9

表 4-32 フレームレート充足確認結果(Cam1)

項番	地点 番号	ランドマーク	方向	bitrate [Kbps]	framerate [fps]	判定	SS-RSRP [dBm]
<b>基準値(KPI)</b>					<b>9</b>		
1	15	2ビルバス停	北行	1437	20	OK	-86.56
2	13	2ビル進入時	北行	1398	23	OK	-89.75
3	12	70スポット交差点	北行	1367	24	OK	-81.99
4	11	71スポット	北行	1501	23	OK	-84.31
5	10	72スポット	北行	1541	21	OK	-73.34
6	9	73スポット	北行	1779	24	OK	-70.59
7	8	74スポット	北行	1451	21	OK	-96.46
8	7	75スポット	北行	1563	25	OK	-95.81
9	6	75スポット交差点	北行	1522	22	OK	-104.08
10	5	154スポット	北行	1760	22	OK	-101.33
11	4	153スポット	北行	1861	24	OK	-113.01
12	16	第3ビル建物下進入時	北行	1448	23	OK	-106.14
13	1	3ビルバス停	北行	1811	24	OK	-115.00
14	17	3ビルUターン	南行	1475	25	OK	-112.00
15	2	151スポット	南行	1473	23	OK	-108.01
16	3	152スポット	南行	1642	23	OK	-109.05
17	4	153スポット	南行	1844	24	OK	-101.98
18	5	154スポット	南行	971	22	OK	-99.17
19	6	75スポット交差点	南行	1214	26	OK	-89.47
20	7	75スポット	南行	1336	25	OK	-63.05
21	8	74スポット	南行	1744	27	OK	-76.05
22	9	73スポット	南行	1496	23	OK	-89.14
23	10	72スポット	南行	964	24	OK	-76.45
24	11	71スポット	南行	1497	22	OK	-90.66
25	12	70スポット交差点	南行	1756	26	OK	-87.03
26	13	2ビル進入時	南行	1548	25	OK	-108.62
27	14	61交差点	南行	1392	20	OK	-116.50

表 4-33 フレームレート充足確認結果(Cam2)

項番	地点 番号	ランドマーク	方向	bitrate [Kbps]	framerate [fps]	判定	SS-RSRP [dBm]
<b>基準値(KPI)</b>					<b>9</b>		
1	15	2ビルバス停	北行	466	10	OK	-86.56
2	13	2ビル進入時	北行	351	10	OK	-89.75
3	12	70スポット交差点	北行	296	10	OK	-81.99
4	11	71スポット	北行	741	9	OK	-84.31
5	10	72スポット	北行	775	10	OK	-73.34
6	9	73スポット	北行	648	9	OK	-70.59
7	8	74スポット	北行	348	10	OK	-96.46
8	7	75スポット	北行	845	9	OK	-95.81
9	6	75スポット交差点	北行	304	10	OK	-104.08
10	5	154スポット	北行	680	9	OK	-101.33
11	4	153スポット	北行	707	9	OK	-113.01
12	16	第3ビル建物下進入時	北行	282	10	OK	-106.14
13	1	3ビルバス停	北行	589	9	OK	-115.00
14	17	3ビルUターン	南行	612	9	OK	-112.00
15	2	151スポット	南行	450	10	OK	-108.01
16	3	152スポット	南行	623	9	OK	-109.05
17	4	153スポット	南行	164	10	OK	-101.98
18	5	154スポット	南行	367	9	OK	-99.17
19	6	75スポット交差点	南行	689	9	OK	-89.47
20	7	75スポット	南行	607	9	OK	-63.05
21	8	74スポット	南行	649	10	OK	-76.05
22	9	73スポット	南行	804	9	OK	-89.14
23	10	72スポット	南行	645	9	OK	-76.45
24	11	71スポット	南行	728	9	OK	-90.66
25	12	70スポット交差点	南行	592	9	OK	-87.03
26	13	2ビル進入時	南行	803	9	OK	-108.62
27	14	61交差点	南行	465	9	OK	-116.50

表 4-34 フレームレート充足確認結果(Cam3)

項番	地点 番号	ランドマーク	方向	bitrate [Kbps]	framerate [fps]	判定	SS-RSRP [dBm]
<b>基準値(KPI)</b>					<b>9</b>		
1	15	2ビルバス停	北行	302	10	OK	-86.56
2	13	2ビル進入時	北行	681	10	OK	-89.75
3	12	70スポット交差点	北行	596	9	OK	-81.99
4	11	71スポット	北行	744	9	OK	-84.31
5	10	72スポット	北行	730	9	OK	-73.34
6	9	73スポット	北行	756	10	OK	-70.59
7	8	74スポット	北行	710	9	OK	-96.46
8	7	75スポット	北行	671	9	OK	-95.81
9	6	75スポット交差点	北行	544	9	OK	-104.08
10	5	154スポット	北行	643	10	OK	-101.33
11	4	153スポット	北行	800	11	OK	-113.01
12	16	第3ビル建物下進入時	北行	652	9	OK	-106.14
13	1	3ビルバス停	北行	577	9	OK	-115.00
14	17	3ビルUターン	南行	712	10	OK	-112.00
15	2	151スポット	南行	453	9	OK	-108.01
16	3	152スポット	南行	700	10	OK	-109.05
17	4	153スポット	南行	348	9	OK	-101.98
18	5	154スポット	南行	292	9	OK	-99.17
19	6	75スポット交差点	南行	622	9	OK	-89.47
20	7	75スポット	南行	704	9	OK	-63.05
21	8	74スポット	南行	709	10	OK	-76.05
22	9	73スポット	南行	725	10	OK	-89.14
23	10	72スポット	南行	731	10	OK	-76.45
24	11	71スポット	南行	792	10	OK	-90.66
25	12	70スポット交差点	南行	772	10	OK	-87.03
26	13	2ビル進入時	南行	717	10	OK	-108.62
27	14	61交差点	南行	632	9	OK	-116.50

表 4-35 フレームレート充足確認結果(Cam4)

項番	地点 番号	ランドマーク	方向	bitrate [Kbps]	framerate [fps]	判定	SS-RSRP [dBm]
<b>基準値(KPI)</b>					<b>9</b>		
1	15	2ビルバス停	北行	305	9	OK	-86.56
2	13	2ビル進入時	北行	274	10	OK	-89.75
3	12	70スポット交差点	北行	317	9	OK	-81.99
4	11	71スポット	北行	394	10	OK	-84.31
5	10	72スポット	北行	309	9	OK	-73.34
6	9	73スポット	北行	347	10	OK	-70.59
7	8	74スポット	北行	333	10	OK	-96.46
8	7	75スポット	北行	506	9	OK	-95.81
9	6	75スポット交差点	北行	328	10	OK	-104.08
10	5	154スポット	北行	294	9	OK	-101.33
11	4	153スポット	北行	290	9	OK	-113.01
12	16	第3ビル建物下進入時	北行	320	10	OK	-106.14
13	1	3ビルバス停	北行	316	10	OK	-115.00
14	17	3ビルUターン	南行	336	10	OK	-112.00
15	2	151スポット	南行	168	9	OK	-108.01
16	3	152スポット	南行	290	9	OK	-109.05
17	4	153スポット	南行	264	10	OK	-101.98
18	5	154スポット	南行	237	10	OK	-99.17
19	6	75スポット交差点	南行	325	10	OK	-89.47
20	7	75スポット	南行	339	10	OK	-63.05
21	8	74スポット	南行	310	9	OK	-76.05
22	9	73スポット	南行	353	9	OK	-89.14
23	10	72スポット	南行	279	9	OK	-76.45
24	11	71スポット	南行	328	9	OK	-90.66
25	12	70スポット交差点	南行	418	9	OK	-87.03
26	13	2ビル進入時	南行	314	9	OK	-108.62
27	14	61交差点	南行	350	9	OK	-116.50

表 4-36 フレームレート充足確認結果(Cam5)

項番	地点 番号	ランドマーク	方向	bitrate [Kbps]	framerate [fps]	判定	SS-RSRP [dBm]
<b>基準値(KPI)</b>					<b>9</b>		
1	15	2ビルバス停	北行	325	10	OK	-86.56
2	13	2ビル進入時	北行	330	9	OK	-89.75
3	12	70スポット交差点	北行	323	10	OK	-81.99
4	11	71スポット	北行	344	9	OK	-84.31
5	10	72スポット	北行	302	9	OK	-73.34
6	9	73スポット	北行	309	9	OK	-70.59
7	8	74スポット	北行	350	10	OK	-96.46
8	7	75スポット	北行	443	10	OK	-95.81
9	6	75スポット交差点	北行	343	10	OK	-104.08
10	5	154スポット	北行	278	10	OK	-101.33
11	4	153スポット	北行	281	9	OK	-113.01
12	16	第3ビル建物下進入時	北行	298	9	OK	-106.14
13	1	3ビルバス停	北行	292	9	OK	-115.00
14	17	3ビルUターン	南行	311	9	OK	-112.00
15	2	151スポット	南行	199	9	OK	-108.01
16	3	152スポット	南行	218	9	OK	-109.05
17	4	153スポット	南行	154	9	OK	-101.98
18	5	154スポット	南行	315	10	OK	-99.17
19	6	75スポット交差点	南行	305	10	OK	-89.47
20	7	75スポット	南行	291	9	OK	-63.05
21	8	74スポット	南行	335	11	OK	-76.05
22	9	73スポット	南行	321	10	OK	-89.14
23	10	72スポット	南行	337	10	OK	-76.45
24	11	71スポット	南行	321	9	OK	-90.66
25	12	70スポット交差点	南行	149	10	OK	-87.03
26	13	2ビル進入時	南行	316	9	OK	-108.62
27	14	61交差点	南行	351	10	OK	-116.50

表 4-37 フレームレート充足確認結果(Cam6)

項番	地点 番号	ランドマーク	方向	bitrate [Kbps]	framerate [fps]	判定	SS-RSRP [dBm]
<b>基準値(KPI)</b>					<b>9</b>		
1	15	2ビルバス停	北行	308	10	OK	-86.56
2	13	2ビル進入時	北行	310	9	OK	-89.75
3	12	70スポット交差点	北行	300	9	OK	-81.99
4	11	71スポット	北行	325	9	OK	-84.31
5	10	72スポット	北行	198	9	OK	-73.34
6	9	73スポット	北行	339	9	OK	-70.59
7	8	74スポット	北行	317	10	OK	-96.46
8	7	75スポット	北行	311	9	OK	-95.81
9	6	75スポット交差点	北行	360	10	OK	-104.08
10	5	154スポット	北行	294	9	OK	-101.33
11	4	153スポット	北行	304	9	OK	-113.01
12	16	第3ビル建物下進入時	北行	314	9	OK	-106.14
13	1	3ビルバス停	北行	306	10	OK	-115.00
14	17	3ビルUターン	南行	353	9	OK	-112.00
15	2	151スポット	南行	270	9	OK	-108.01
16	3	152スポット	南行	286	9	OK	-109.05
17	4	153スポット	南行	195	9	OK	-101.98
18	5	154スポット	南行	242	10	OK	-99.17
19	6	75スポット交差点	南行	224	9	OK	-89.47
20	7	75スポット	南行	224	9	OK	-63.05
21	8	74スポット	南行	366	10	OK	-76.05
22	9	73スポット	南行	317	9	OK	-89.14
23	10	72スポット	南行	331	10	OK	-76.45
24	11	71スポット	南行	233	10	OK	-90.66
25	12	70スポット交差点	南行	358	9	OK	-87.03
26	13	2ビル進入時	南行	215	9	OK	-108.62
27	14	61交差点	南行	113	9	OK	-116.50

表 4-38 フレームレート充足確認結果(Cam7)

項番	地点 番号	ランドマーク	方向	bitrate [Kbps]	framerate [fps]	判定	SS-RSRP [dBm]
<b>基準値(KPI)</b>					<b>9</b>		
1	15	2ビルバス停	北行	323	10	OK	-86.56
2	13	2ビル進入時	北行	312	10	OK	-89.75
3	12	70スポット交差点	北行	308	9	OK	-81.99
4	11	71スポット	北行	389	9	OK	-84.31
5	10	72スポット	北行	296	9	OK	-73.34
6	9	73スポット	北行	337	10	OK	-70.59
7	8	74スポット	北行	284	9	OK	-96.46
8	7	75スポット	北行	355	10	OK	-95.81
9	6	75スポット交差点	北行	291	10	OK	-104.08
10	5	154スポット	北行	282	9	OK	-101.33
11	4	153スポット	北行	331	10	OK	-113.01
12	16	第3ビル建物下進入時	北行	284	9	OK	-106.14
13	1	3ビルバス停	北行	307	9	OK	-115.00
14	17	3ビルUターン	南行	296	10	OK	-112.00
15	2	151スポット	南行	271	9	OK	-108.01
16	3	152スポット	南行	163	9	OK	-109.05
17	4	153スポット	南行	268	9	OK	-101.98
18	5	154スポット	南行	212	9	OK	-99.17
19	6	75スポット交差点	南行	267	9	OK	-89.47
20	7	75スポット	南行	279	10	OK	-63.05
21	8	74スポット	南行	257	9	OK	-76.05
22	9	73スポット	南行	273	9	OK	-89.14
23	10	72スポット	南行	331	11	OK	-76.45
24	11	71スポット	南行	294	9	OK	-90.66
25	12	70スポット交差点	南行	316	9	OK	-87.03
26	13	2ビル進入時	南行	313	9	OK	-108.62
27	14	61交差点	南行	330	9	OK	-116.50



### 3) 遠隔監視システム評価

遠隔監視システムの評価結果を以下に示します。遠隔システムのKPIは、4.4.1.2章(1)の通りです(表4-17 遠隔監視システムの要求仕様)。表4-39 映像遅延/画質/FPSの実車評価(ターミナル2→ターミナル3)及び表4-40 映像遅延/画質/FPSの実車評価(ターミナル3→ターミナル2)に、実車での映像遅延、画質、FPSの評価結果を示します。計測地点と車両向きによる差も確認するために、行き帰りの2パターンで計測を実施しました。設定していたKPIを全計測地点で満たしていることを確認しました。

**表 4-39 映像遅延/画質/FPSの実車評価(ターミナル2→ターミナル3)**

地点番号	遅延 [sec]	画質 (解像度)	FPS [frame/sec]
15	0.369	HD	22
13	0.331	HD	25
12	0.346	HD	26
11	0.349	HD	21
10	0.338	HD	25
9	0.321	HD	25
8	0.310	HD	21
7	0.317	HD	22
6	0.237	HD	22
5	0.261	HD	25
4	0.278	HD	23
16	0.286	HD	22
1	0.336	HD	26

表 4-40 映像遅延/画質/FPS の実車評価(ターミナル3→ターミナル2)

地点番号	遅延 [sec]	画質 (解像度)	FPS [frame/sec]
1	0.389	HD	24
17	0.389	HD	24
2	0.276	HD	23
3	0.321	HD	26
4	0.276	HD	21
5	0.316	HD	23
6	0.333	HD	23
7	0.275	HD	19
8	0.282	HD	21
9	0.349	HD	24
10	0.332	HD	25
11	0.343	HD	24
12	0.248	HD	21
13	0.317	HD	24
14	0.350	HD	25
15	0.326	HD	24

## ② 通信遅延評価

1kB のデータ送信を行い、各地点におけるデータ通信往復時間 (ping RTT 値) の計測を行いました。

### 1) ローカル 5G 単体

自動運転車内の PC からサーバールームに設置した WebRTC Server へ Ping を実行することでデータ通信往復時間 (ping RTT 値) を計測しました。

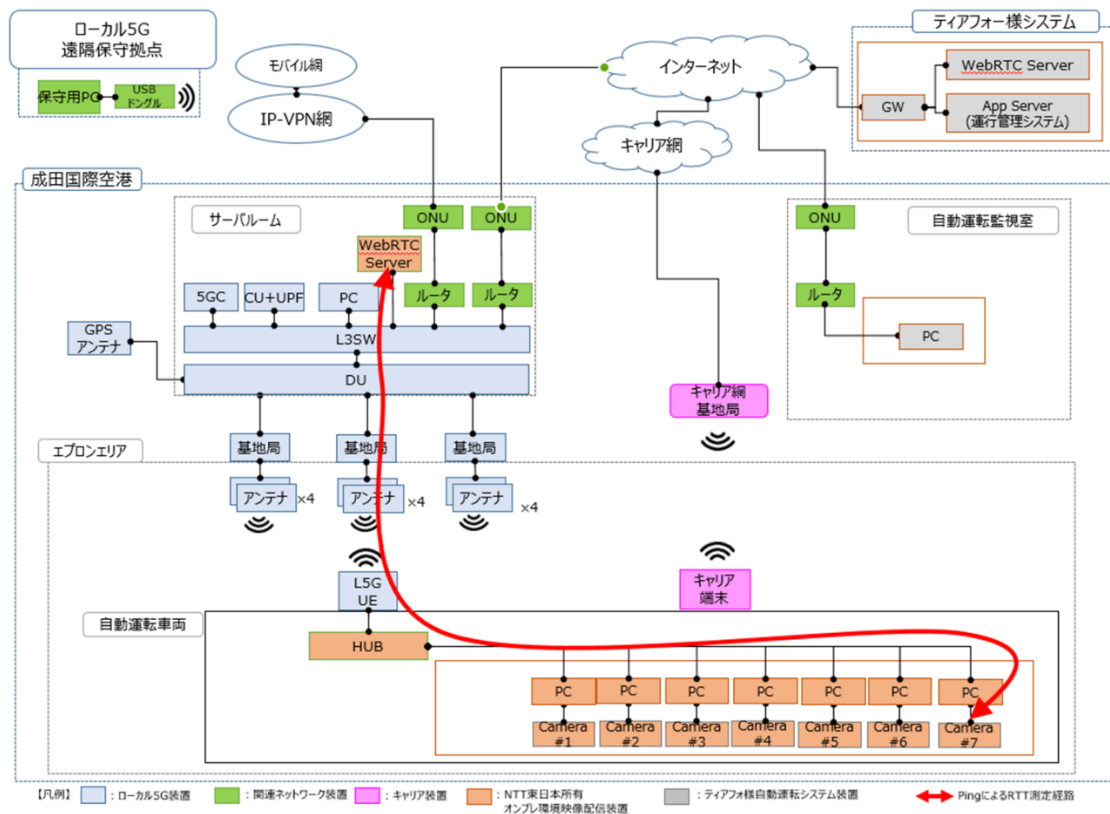


図 4-55 Ping による RTT 測定構成

・測定結果

各地点においてデータ通信往復時間(ping RTT 値)について十分余裕をもって KPI 充足できていることを確認しました。

表 4-41 Ping によるデータ通信往復時間(ping RTT 値)測定結果 (ローカル 5 G)

項番	地点 番号	ランドマーク	方向	ping RTT [msec]
<b>基準値(KPI)</b>				-
1	15	2ビルバス停	北行	17
2	13	2ビルバス停出口	北行	30
3	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	北行	20
4	11	71番スポット	北行	12
5	10	72番スポット	北行	32
6	9	73番スポット	北行	14
7	8	74番スポット	北行	17
8	7	75番スポット (基地局位置)	北行	30
9	6	75番スポット先交差点	北行	17
10	5	154番スポット	北行	18
11	4	153番スポット	北行	23
12	16	3ビルバス停入口	北行	14
13	1	3ビルバス停	北行	15
14	17	3ビルUターン場所	南行	15
15	2	151番スポット	南行	13
16	3	152番スポット (基地局位置)	南行	23
17	4	153番スポット	南行	14
18	5	154番スポット	南行	15
19	6	75番スポット先交差点	南行	15
20	7	75番スポット (基地局位置)	南行	12
21	8	74番スポット	南行	19
22	9	73番スポット	南行	13
23	10	72番スポット	南行	22
24	11	71番スポット	南行	31
25	12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	南行	29
26	13	2ビルバス停出口	南行	37
27	14	2ビルバス停	南行	13

## 2) キャリア通信

### ・測定方法

自動運転車内に測定者が乗り込み ping 試験を実施しました。キャリア 5G の EPC に接続された iperf サーバに対し ping 試験を常時実施し、RTT 値を測定しました。

### ・測定結果

表 4-42 Ping によるデータ通信往復時間(ping RTT 値)測定結果 (キャリア通信)

項番	地点 番号	ランドマーク	方向	RTT [msec]
1	15	2ビルバス停	北行	42
2	13	2ビル進入時	北行	46
3	12	70スポット交差点	北行	28
4	11	71スポット	北行	43
5	10	72スポット	北行	41
6	9	73スポット	北行	39
7	8	74スポット	北行	41
8	7	75スポット	北行	48
9	6	75スポット交差点	北行	50
10	5	154スポット	北行	52
11	4	153スポット	北行	42
12	16	第3ビル建物下進入時	北行	49
13	1	3ビルバス停	北行	43
14	17	3ビルUターン	南行	61
15	2	151スポット	南行	44
16	3	152スポット	南行	41
17	4	153スポット	南行	48
18	5	154スポット	南行	36
19	6	75スポット交差点	南行	61
20	7	75スポット	南行	40
21	8	74スポット	南行	45
22	9	73スポット	南行	46
23	10	72スポット	南行	42
24	11	71スポット	南行	36
25	12	70スポット交差点	南行	44
26	13	2ビル進入時	南行	49
27	14	61交差点	南行	66

### ③ 映像遅延評価

#### a) ローカル5G単体評価

ローカル5G実証実験として、自動運転用遠隔監視映像で初めて実施するため、ローカル5G網内に映像受信用サーバを設け、7つのカメラを駆動した状態で、動作確認を実施しました。

##### ・実験方法)

今回のローカル5Gで映像遅延を評価するにあたってオンプレミスで成田空港にWebRTC Serverを設置し、映像遅延評価を行った。映像遅延の評価方法は、自動運転車と同じ7台のカメラで映像配信を行い、自動運転車両内での送信側映像と受信側映像の差を映像遅延としました。具体的には、NTT東日本保有オンプレ環境映像配信装置におけるWebRTCサーバと、自動運転車両に搭載したPC(Cam7接続)間を計測しました。

・映像配信のデータの流れ(ローカル 5G 経由)

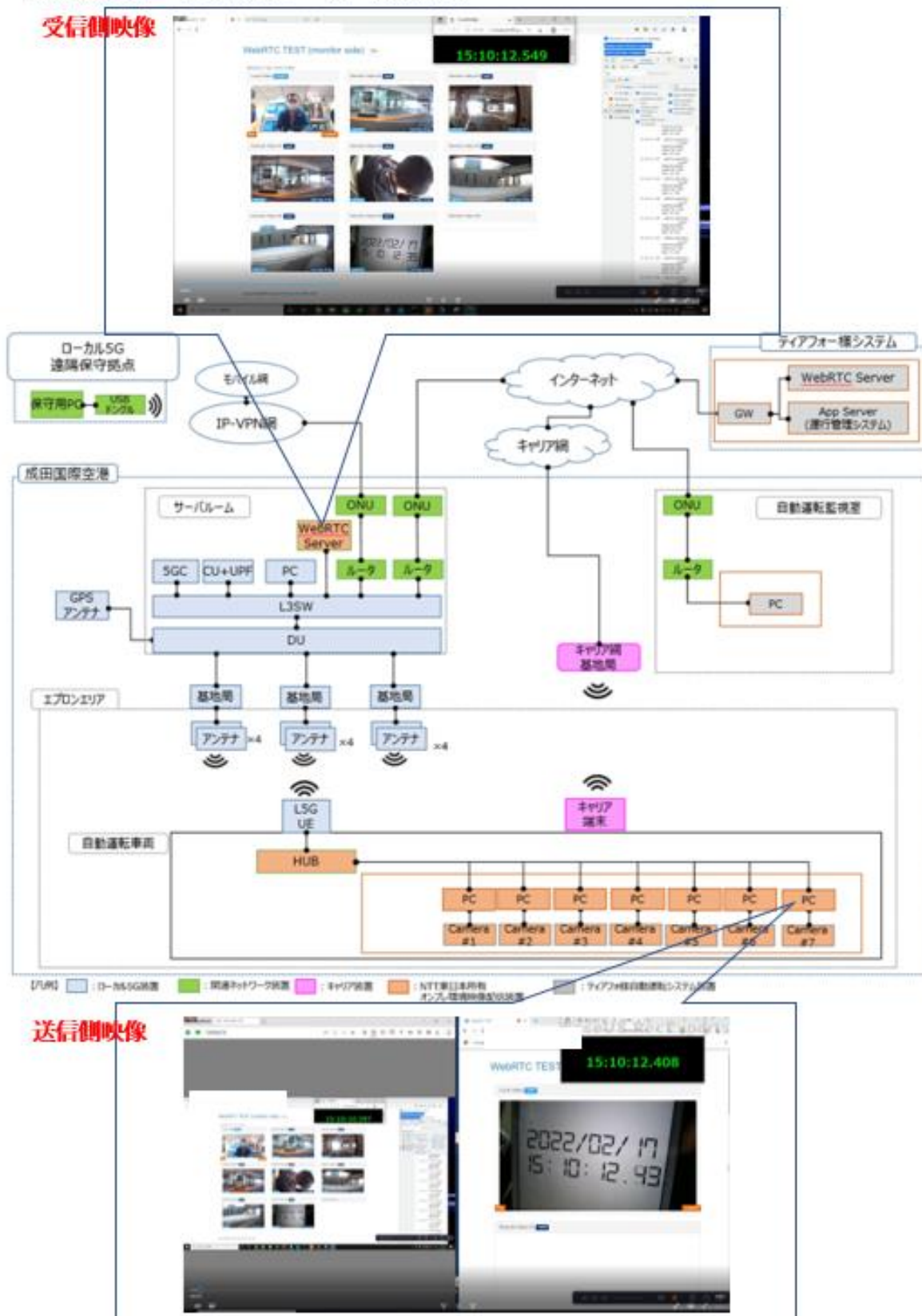


図 4-56 構成図および送受信映像による遅延時間計測

・遅延時間計測方法

以下に、送受信間の映像遅延計測方法を示します。

1. 今回の各端末の NTP サーバは独立行政法人情報通信研究機構 (NICT) の日本標示時に直結した時刻サーバ (NICT 公開 NTP サービス : ntp.nict.jp) の提供する時刻をすべての PC およびサーバで共通化し、以下の図の①、②のように各 PC の遅延時間ズレを把握する。独立行政法人情報通信研究機構ホームページによれば、インターネット環境に応じ数ミリ秒～数百ミリ秒まで変動することがある旨を考慮し、実験します。
2. そのズレを反映します。(この場合、②が遅れているので④に遅れた分の時間を追加します。)
3. ③と④の時間差を計算します。

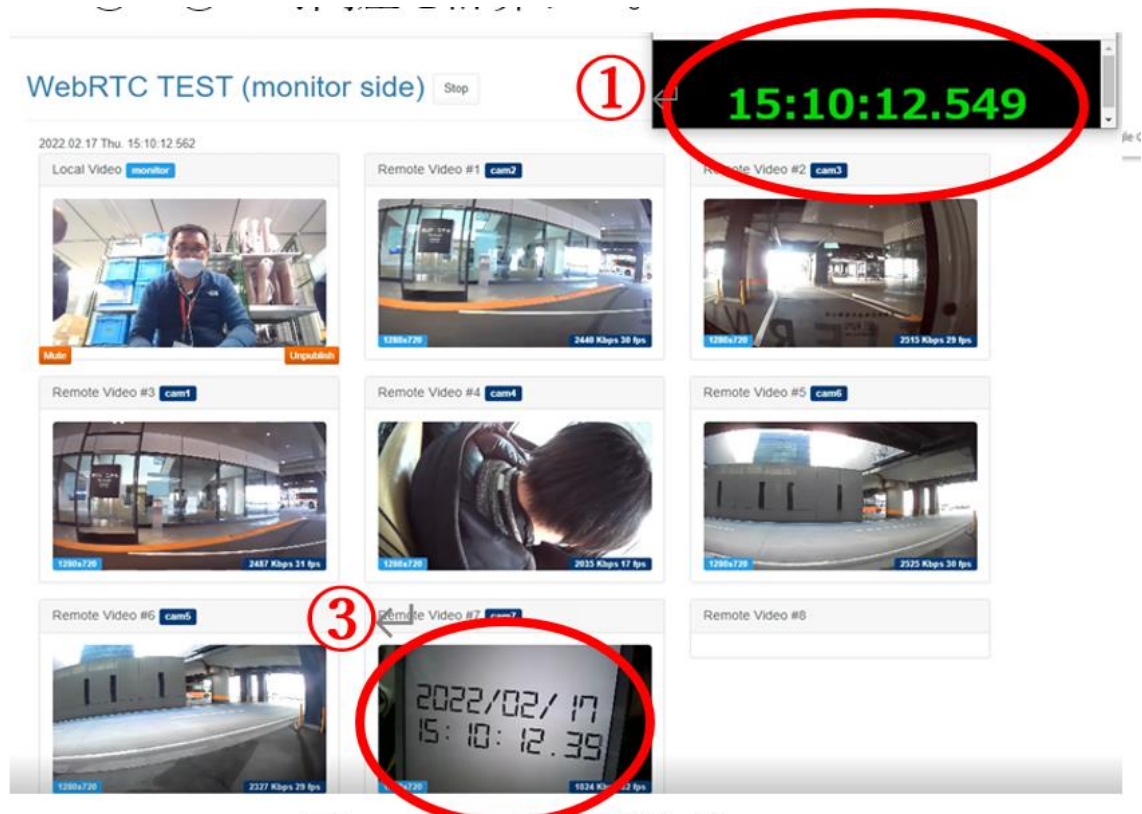


図 4-57 受信側映像表示画面



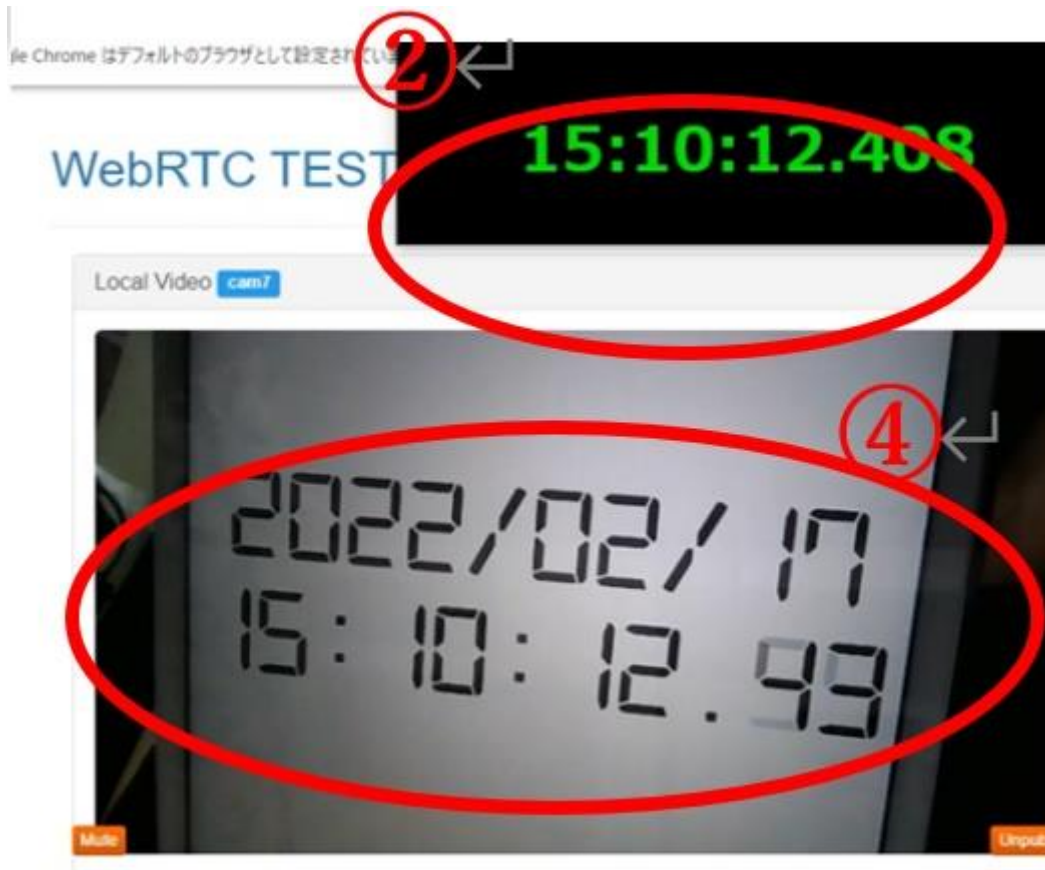


図 4-58 送信側映像表示画面

以下に、本項における映像遅延の計測時間を示すタイミングチャート概念図を示します。

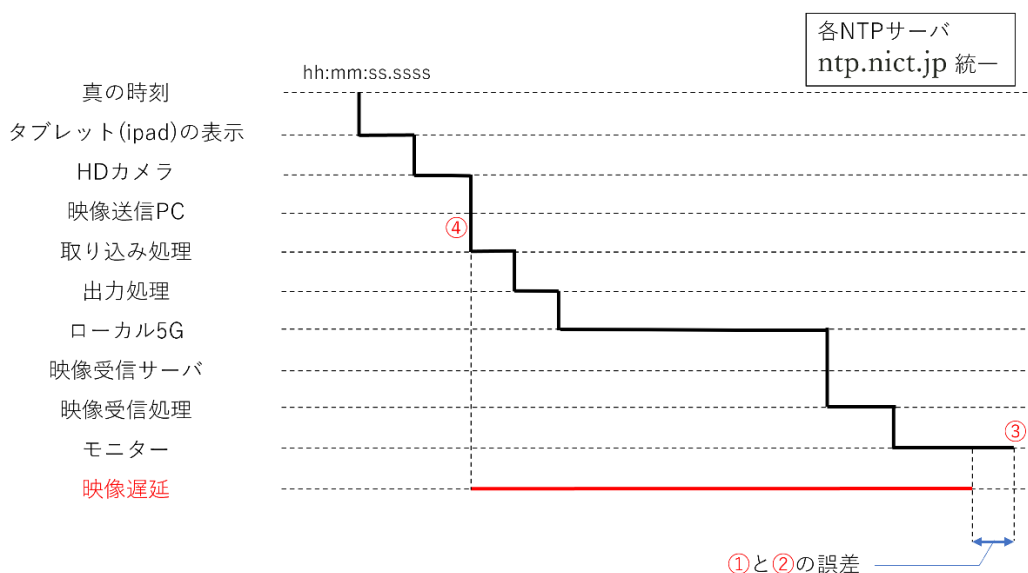


図 4-59 ローカル 5 G 区間を含む映像遅延時間の計測区間

・計測方法

自動運転車の走行ルートに17地点の測定ポイントを設け、時系列に第3ターミナルから1往復分の26回、17地点で映像遅延を測定しました。以下に測定地点と詳細情報を示します。



図 4-60 走行ルートの映像遅延測定地点

表 4-43 地点番号の詳細情報

地点番号	ランドマーク	緯度	経度
1	3ビルバス停	35.77890094	140.3853554
2	151スポット	35.77925306	140.3853148
3	152スポット	35.77887425	140.3856245
4	153スポット	35.77854618	140.3858596
5	154スポット	35.77806965	140.3862029
6	75スポット交差点	35.77751115	140.386557
7	75スポット	35.77695252	140.3867675
8	74スポット	35.77648962	140.3870968
9	73スポット	35.77584782	140.3875529
10	72スポット	35.77526997	140.3879704
11	71スポット	35.77463289	140.3884291
12	70スポット交差点	35.77484949	140.3893113
13	2ビル進入時	35.77447085	140.3897532
14	61交差点	35.77363906	140.3903399
15	2ビルバス停	35.77423602	140.389817
16	第3ビル建物下進入時	35.77868265	140.3856873
17	第3ビルUターン	35.77981402	140.3848646

・実験結果

横軸を地点番号、縦軸を映像遅延とした際、目標値の KPI に対し、ローカル 5 G 区間遅延を含む映像遅延で必要な 250msec 以下を観測しており、測定誤差等を考慮してもローカル 5 G とインターネット・クラウド区間を除いた映像送受信においては 150msec 以上のマージンを有していることが分かりました。

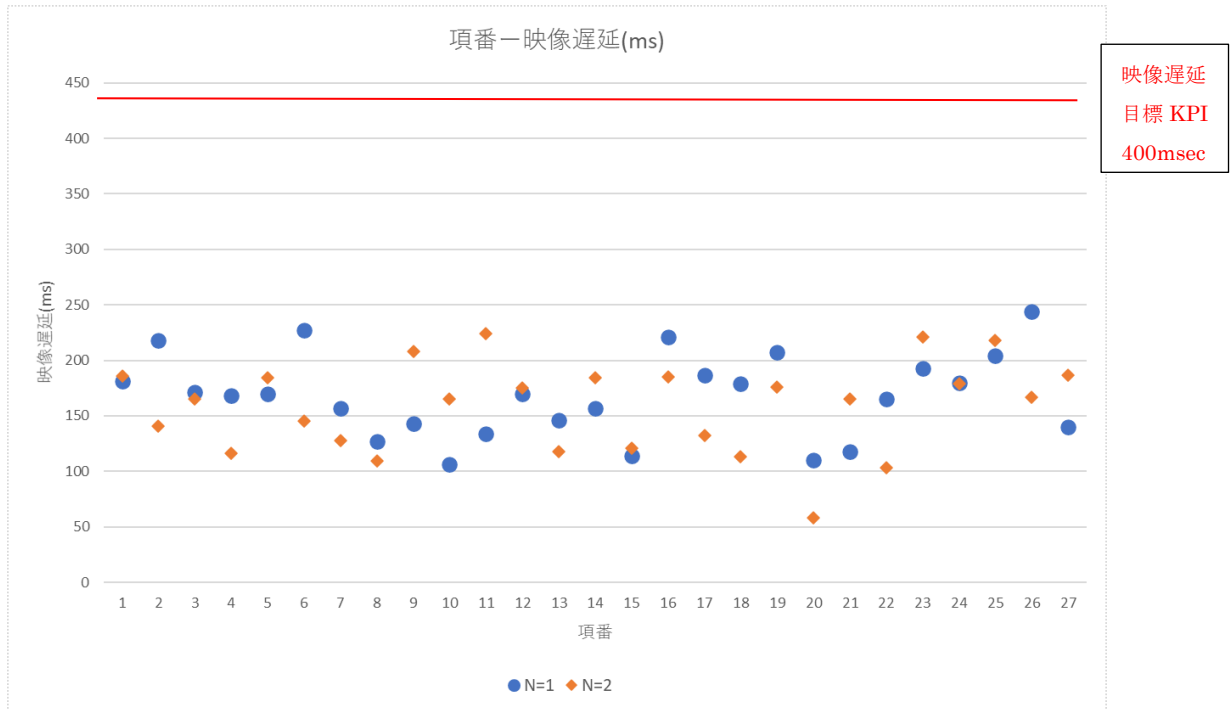


図 4-61 計測地点ごとの映像遅延結果 (N=2)

自動運転車の走行ルートに 17 地点の測定ポイントを設け、時系列に第 3 ターミナルから 1 往復分の 27 回、17 地点で映像遅延を測定しました。以下に映像遅延結果(測定 1 回目)の表を示します。

表 4-44 走行ルートの映像遅延結果と測定地点(測定 1 回目)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
1	15	2ビルバス停停車中	15:10:12	31	181	OK
2	13	2ビル進入時	15:10:28	22	218	OK
3	12	70番スポット交差点	15:10:35	19	171	OK
4	11	71番スポット	15:11:01	21	168	OK
5	10	72番スポット	15:11:20	22	170	OK
6	9	73番スポット	15:11:39	22	227	OK
7	8	74番スポット	15:11:57	17	157	OK
8	7	75番スポット	15:12:13	27	127	OK
9	6	75番スポット交差点	15:12:35	24	143	OK
10	5	154番スポット	15:13:01	24	106	OK
11	4	153番スポット	15:13:16	21	134	OK
12	16	3ビル進入時	15:13:27	24	170	OK
13	1	3ビルバス停停車中	15:13:50	16	146	OK
14	17	第3ビルUターン	15:15:17	19	157	OK
15	2	151番スポット	15:15:59	21	114	OK
16	3	152番スポット	15:16:07	14	221	OK
17	4	153番スポット	15:16:17	25	187	OK
18	5	154番スポット	15:16:32	24	179	OK
19	6	75番スポット交差点	15:17:08	26	207	OK
20	7	75番スポット	15:17:21	23	110	OK
21	8	74番スポット	15:17:35	25	118	OK
22	9	73番スポット	15:17:55	20	165	OK
23	10	72番スポット	15:18:13	19	193	OK
24	11	71番スポット	15:18:33	27	180	OK
25	12	70番スポット交差点	15:19:03	23	204	OK
26	13	2ビル進入時	15:19:25	26	244	OK
27	14	61番スポット交差点	15:19:53	21	140	OK

自動運転車の走行ルートに 17 地点の測定ポイントを設け、時系列に第 3 ターミナルから 1 往復分の 27 回、17 地点で映像遅延を測定した。以下に映像遅延結果(測定 2 回目)の表を示します。

表 4-45 走行ルートの映像遅延結果と測定地点(測定 2 回目)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
1	15	2ビルバス停停車中	15:25:56	20	186	OK
2	13	2ビル進入時	15:26:18	12	141	OK
3	12	70番スポット交差点	15:26:32	14	165	OK
4	11	71番スポット	15:26:56	16	116	OK
5	10	72番スポット	15:27:15	22	184	OK
6	9	73番スポット	15:27:35	20	145	OK
7	8	74番スポット	15:27:53	31	128	OK
8	7	75番スポット	15:28:09	13	109	OK
9	6	75番スポット交差点	15:28:32	25	208	OK
10	5	154番スポット	15:28:57	13	165	OK
11	4	153番スポット	15:29:11	22	224	OK
12	16	3ビル進入時	15:29:22	22	175	OK
13	1	3ビルバス停停車中	15:29:43	18	118	OK
14	17	第3ビルUターン	15:31:31	10	184	OK
15	2	151番スポット	15:32:11	10	121	OK
16	3	152番スポット	15:32:18	26	185	OK
17	4	153番スポット	15:32:28	20	132	OK
18	5	154番スポット	15:32:45	14	113	OK
19	6	75番スポット交差点	15:33:02	13	176	OK
20	7	75番スポット	15:33:35	14	58	OK
21	8	74番スポット	15:33:49	12	165	OK
22	9	73番スポット	15:34:09	19	103	OK
23	10	72番スポット	15:34:26	14	221	OK
24	11	71番スポット	15:34:47	12	179	OK
25	12	70番スポット交差点	15:35:18	31	218	OK
26	13	2ビル進入時	15:35:39	15	167	OK
27	14	61番スポット交差点	15:36:07	20	187	OK

・測定1回目-2022年2月17日 15:10:12~15:19:53

表 4-46 測定結果(地点番号 15)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
1	15	2ビルバス停停車中	15:10:12	31	181	OK



図 4-62 測定地点(地点番号 15)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-63 受信側映像

図 4-64 送信側映像

表 4-47 測定結果(地点番号 13)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
2	13	2ビル進入時	15:10:28	22	218	OK



図 4-65 測定地点(地点番号 13)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

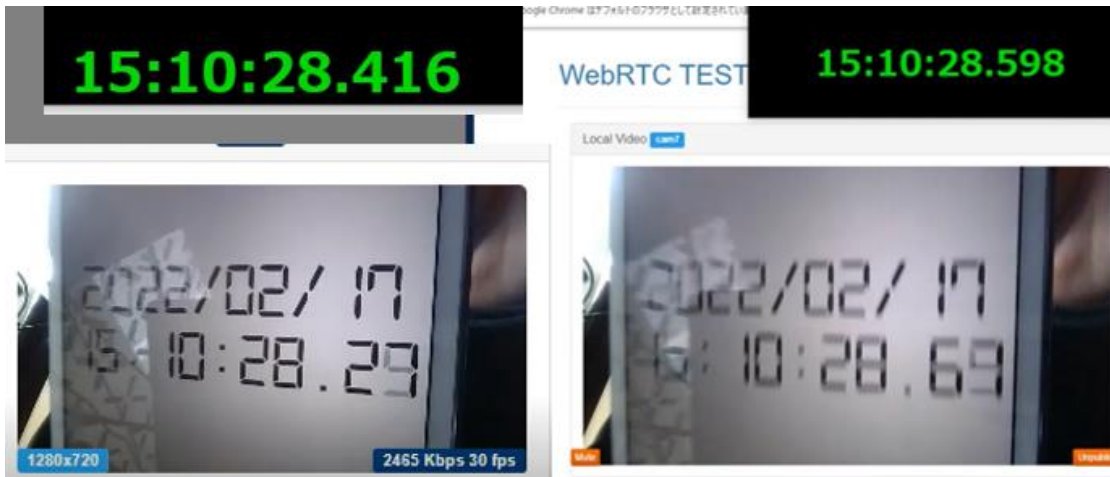


図 4-66 受信側映像

図 4-67 送信側映像

表 4-48 測定結果(地点番号 12)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
3	12	70番スポット交差点	15:10:35	19	171	OK

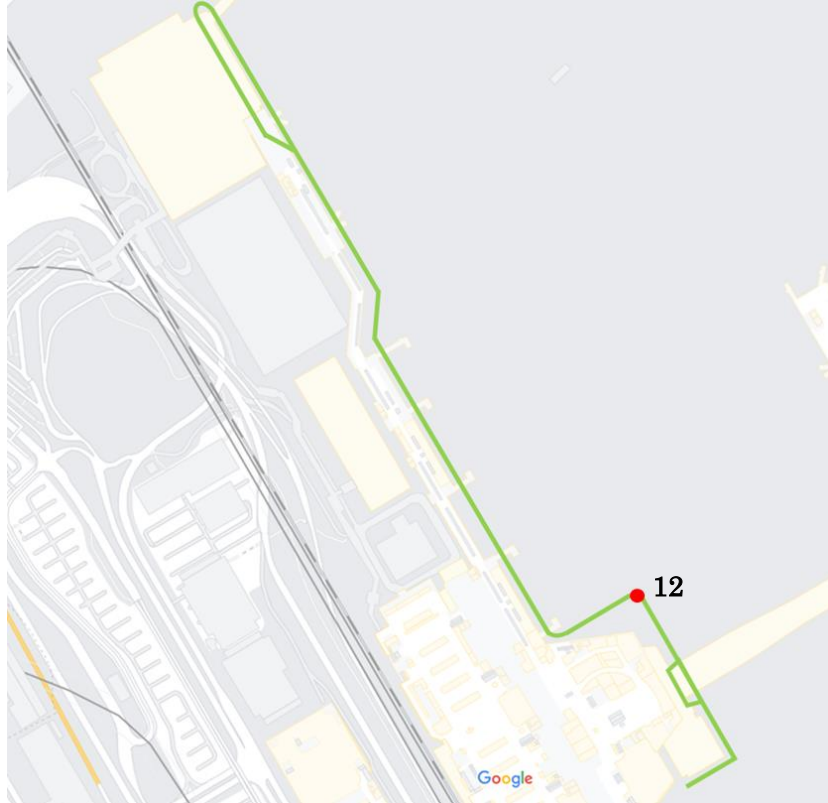


図 4-68 測定地点(地点番号 12)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-69 受信側映像

図 4-70 送信側映像



表 4-49 測定結果(地点番号 11)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
4	11	71番スポット	15:11:01	21	168	OK

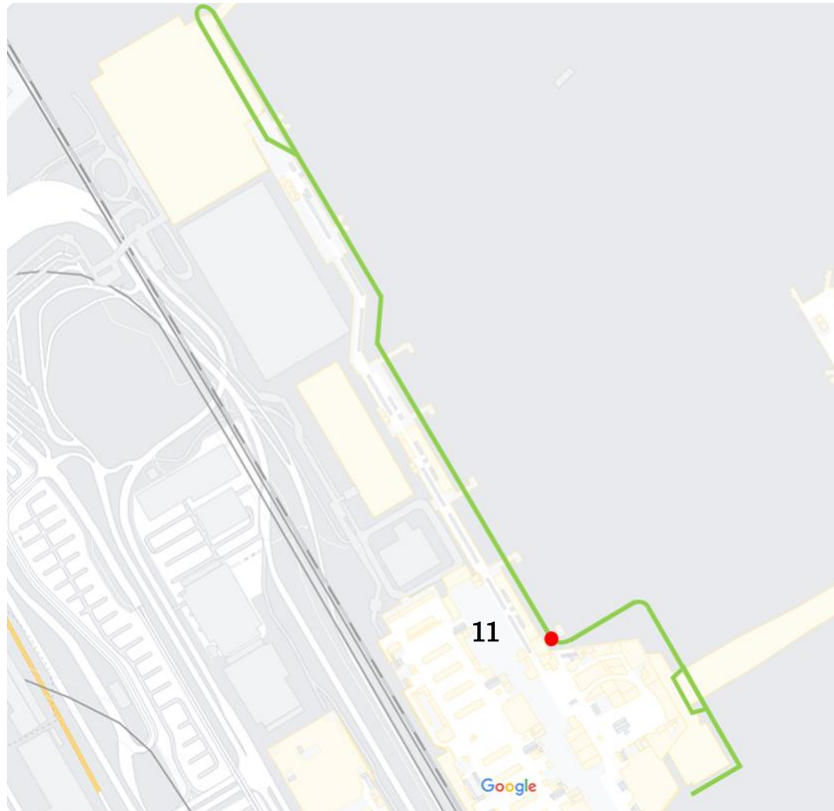


図 4-71 測定地点(地点番号 11)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-72 受信側映像

図 4-73 送信側映像

表 4-50 測定結果(地点番号 10)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
5	10	72番スポット	15:11:20	22	170	OK



図 4-74 測定地点(地点番号 10)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

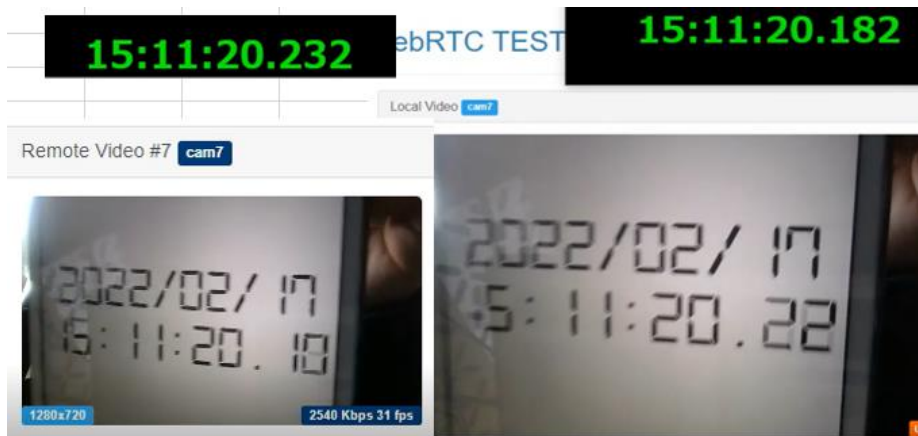


図 4-75 受信側映像

図 4-76 送信側映像

表 4-51 測定結果(地点番号 9)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
6	9	73番スポット	15:11:39	22	227	OK

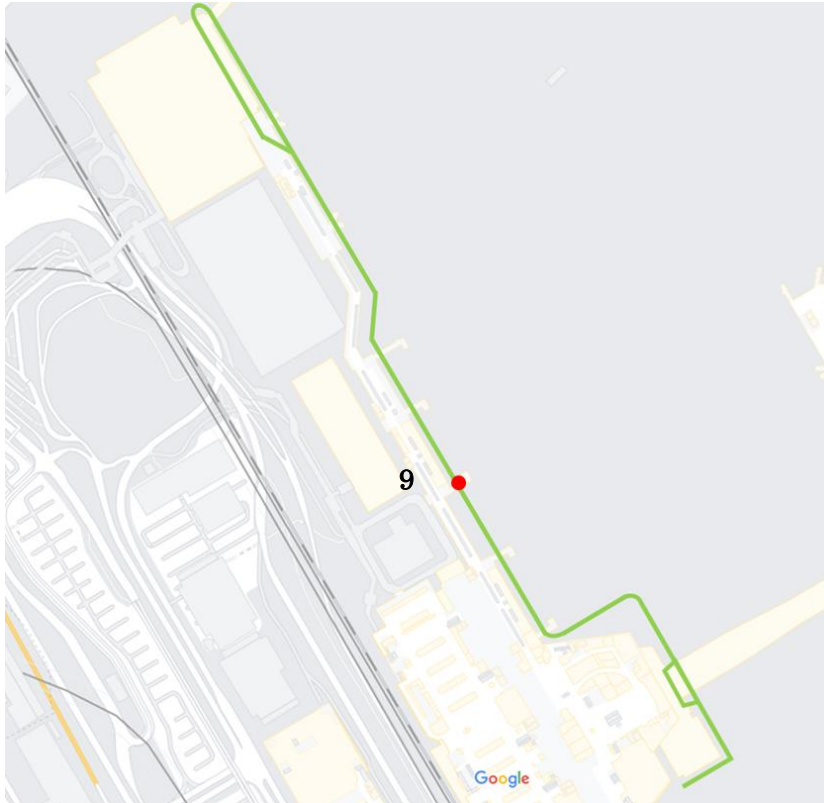


図 4-77 測定地点(地点番号 9)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-78 受信側映像

図 4-79 送信側映像

表 4-52 測定結果(地点番号 8)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
7	8	74番スポット	15:11:57	17	157	OK

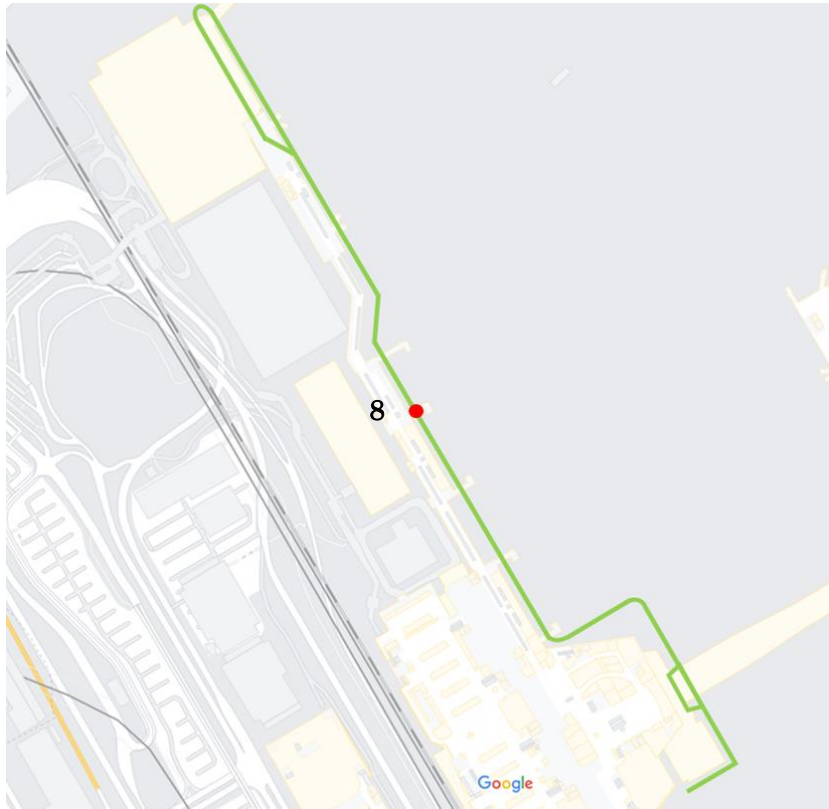


図 4-80 測定地点(地点番号 8)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-81 受信側映像



図 4-82 送信側映像

表 4-53 測定結果(地点番号 7)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
8	7	75番スポット	15:12:13	27	127	OK

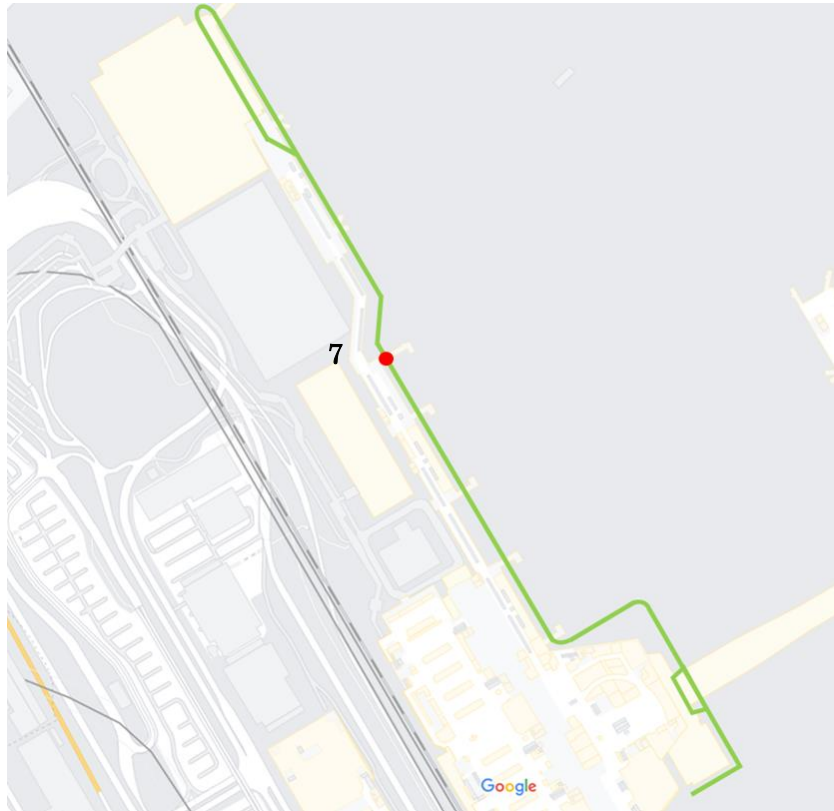


図 4-83 測定地点(地点番号 7)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-84 受信側映像

図 4-85 送信側映像

表 4-54 測定結果(地点番号 6)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
9	6	75番スポット交差点	15:12:35	24	143	OK

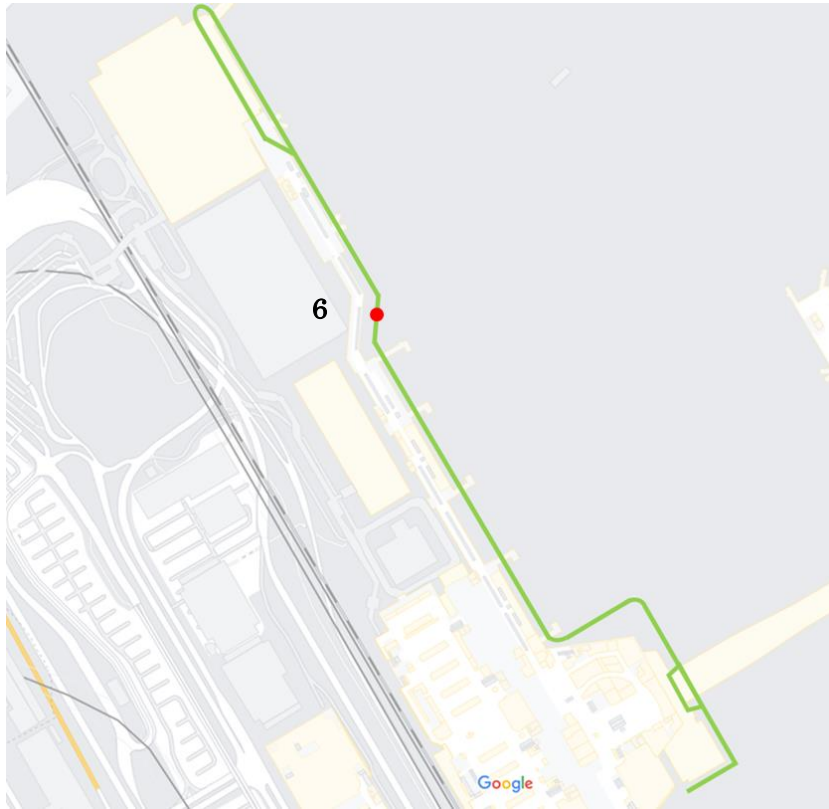


図 4-86 測定地点(地点番号 6)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-87 受信側映像

図 4-88 送信側映像

表 4-55 測定結果(地点番号 5)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
10	5	154番スポット	15:13:01	24	106	OK

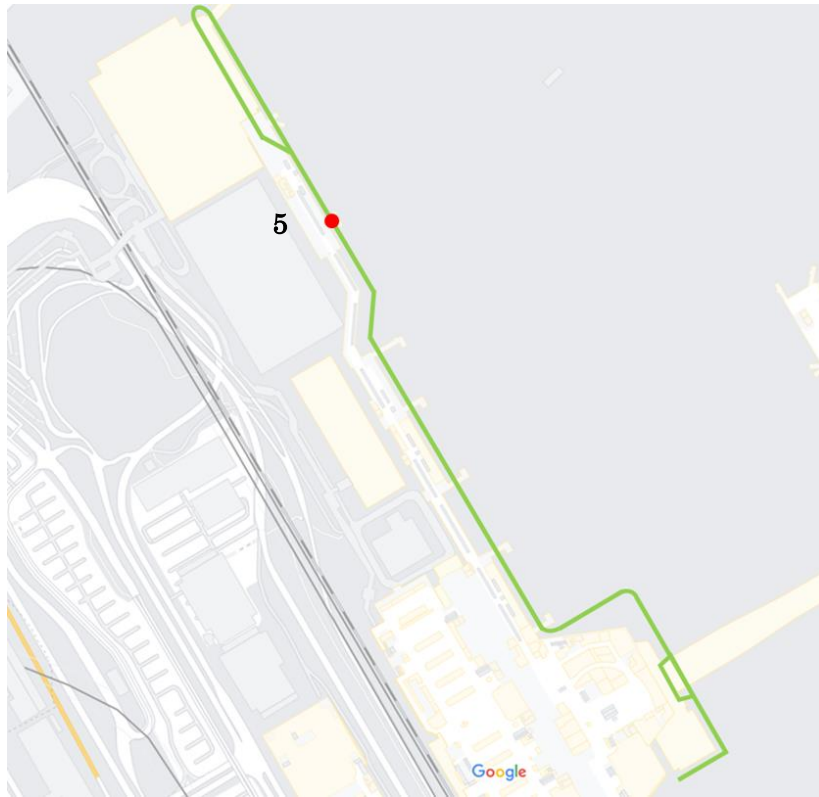


図 4-89 測定地点(地点番号 5)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

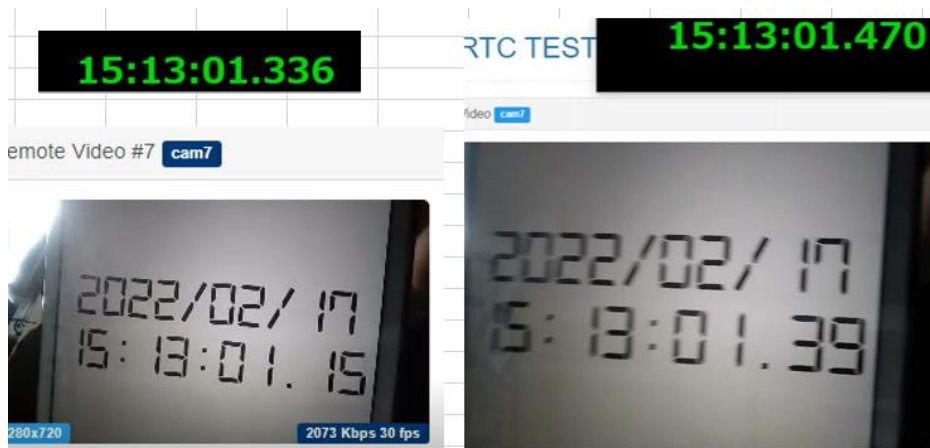


図 4-90 受信側映像

図 4-91 送信側映像

表 4-56 測定結果(地点番号 4)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
11	4	153番スポット	15:13:16	21	134	OK

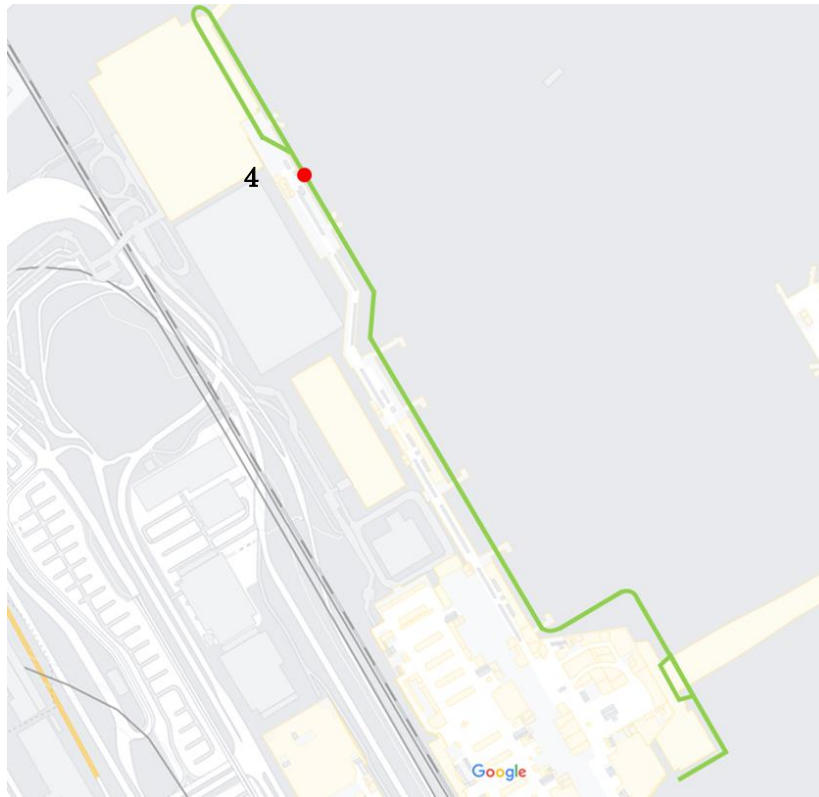


図 4-92 測定地点(地点番号 4)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

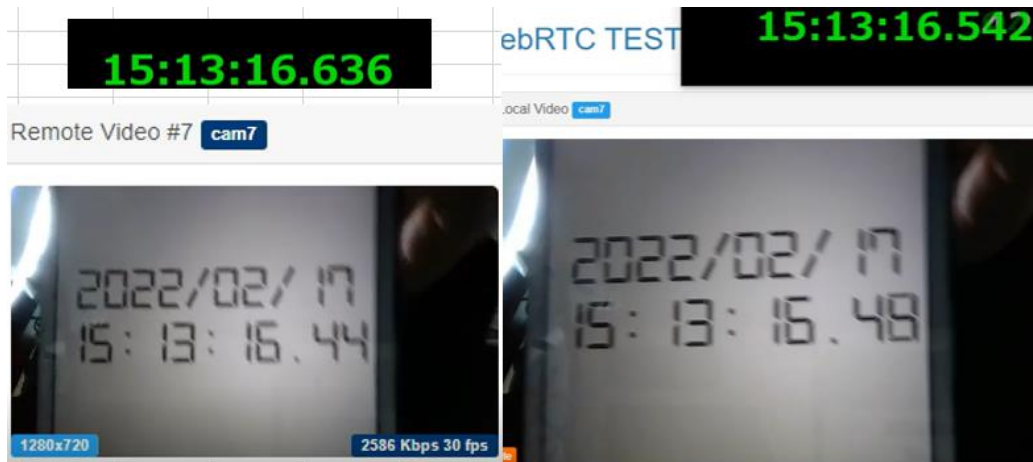


図 4-93 受信側映像

図 4-94 送信側映像



表 4-57 測定結果(地点番号 16)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
12	16	3ビル進入時	15:13:27	24	170	OK

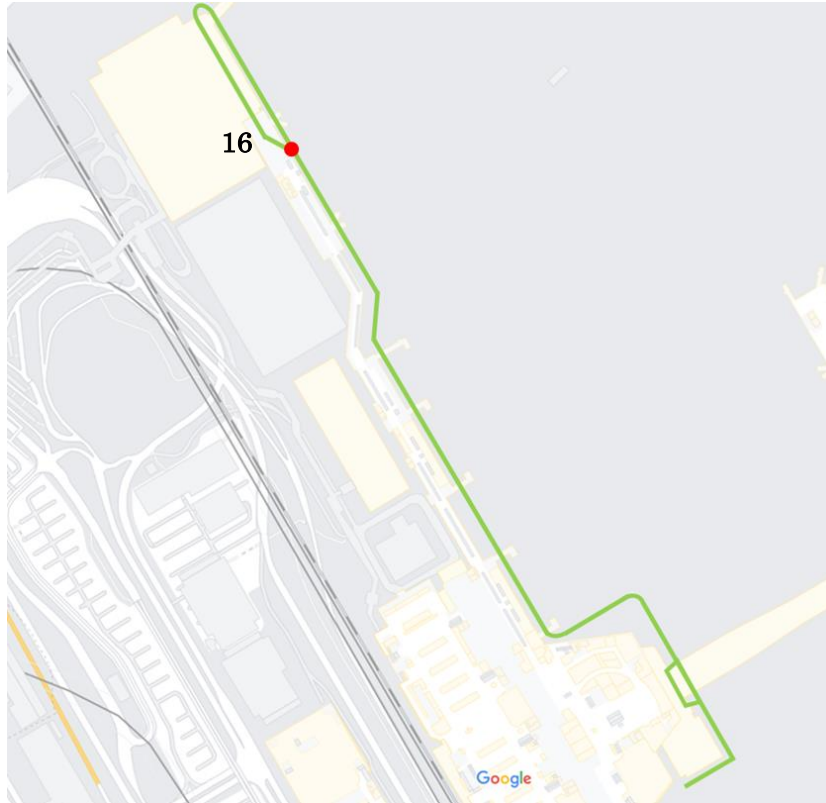


図 4-95 測定地点(地点番号 16)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

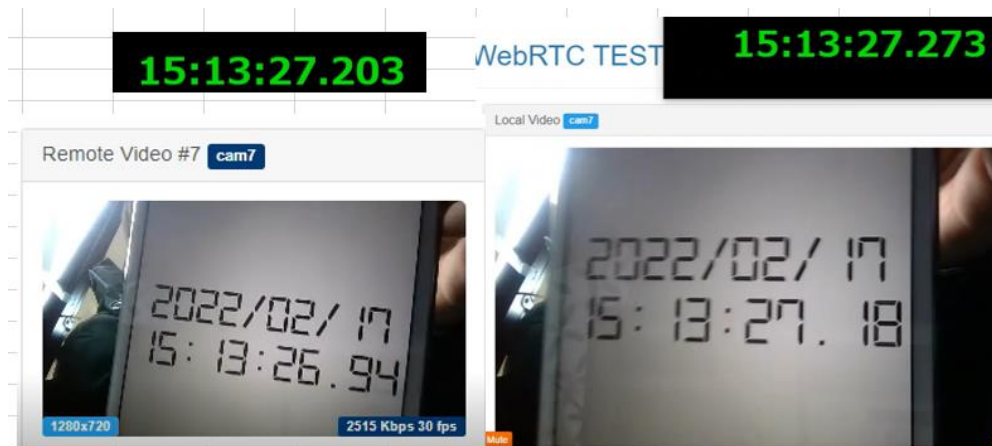


図 4-96 受信側映像

図 4-97 送信側映像

表 4-58 測定結果(地点番号 1)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
13	1	3ビルバス停停車中	15:13:50	16	146	OK

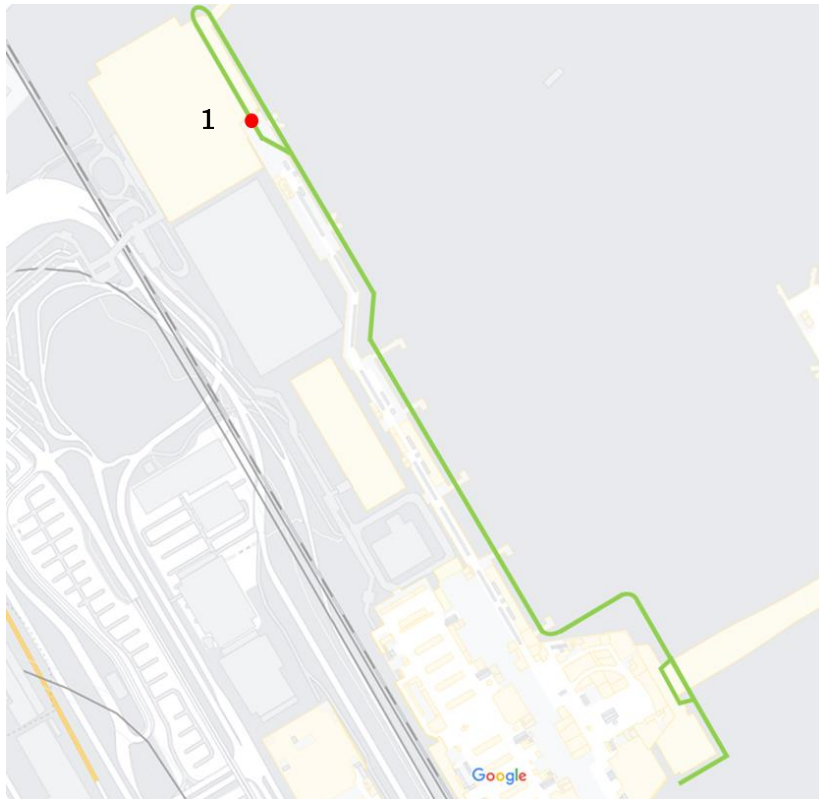


図 4-98 測定地点(地点番号 1)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-99 受信側映像

図 4-100 送信側映像

表 4-59 測定結果(地点番号 17)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
14	17	第3ビルUターン	15:15:17	19	157	OK



図 4-101 測定地点(地点番号 17)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-102 受信側映像

図 4-103 送信側映像

表 4-60 測定結果(地点番号 2)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
15	2	151番スポット	15:15:59	21	114	OK

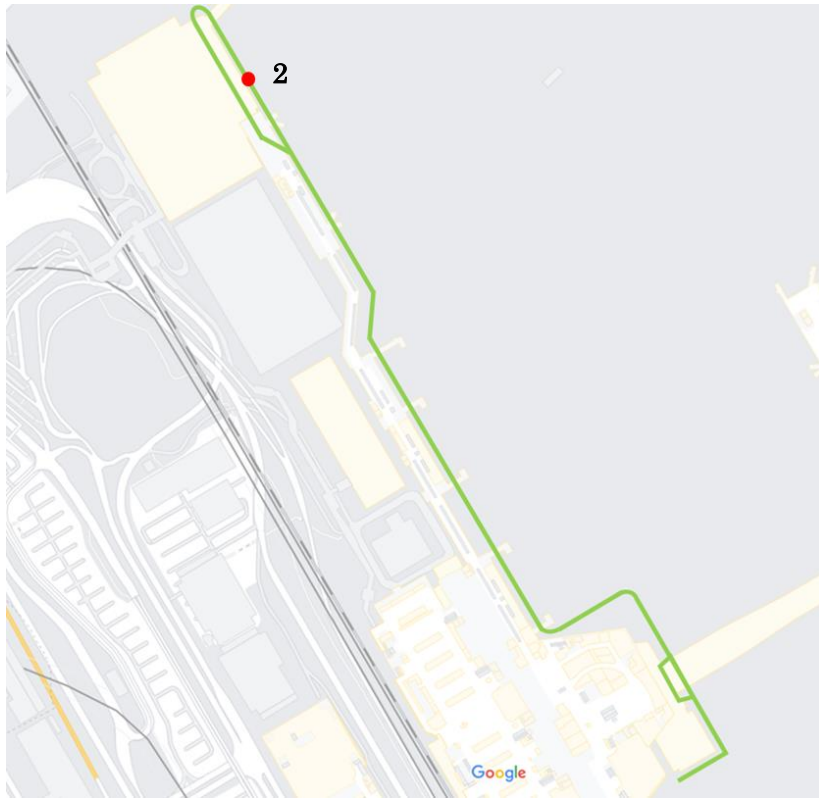


図 4-104 測定地点(地点番号 2)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

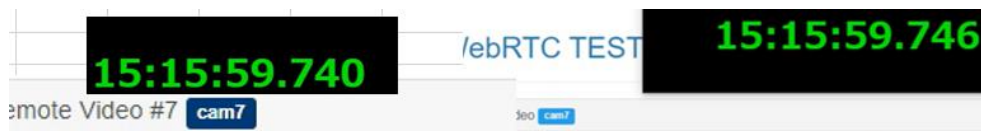


図 4-105 受信側映像



図 4-106 送信側映像

表 4-61 測定結果(地点番号 3)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
16	3	152番スポット	15:16:07	14	221	OK

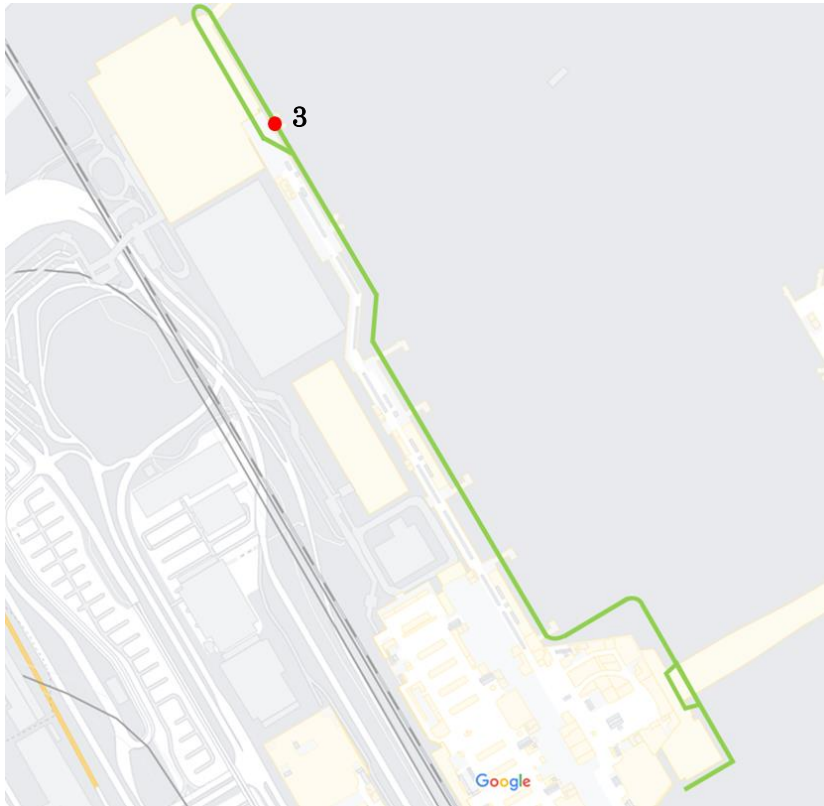


図 4-107 測定地点(地点番号 3)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

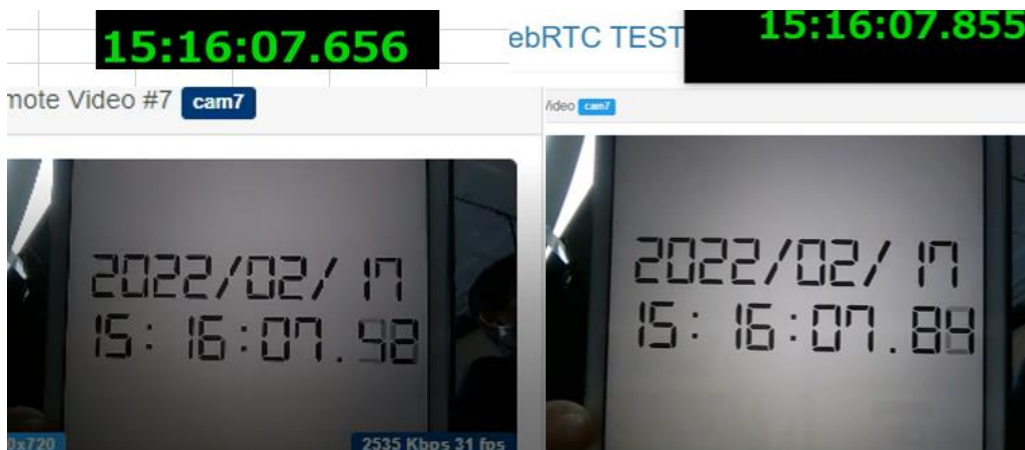


図 4-108 受信側映像

図 4-109 送信側映像

表 4-62 測定結果(地点番号 4)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
17	4	153番スポット	15:16:17	25	187	OK

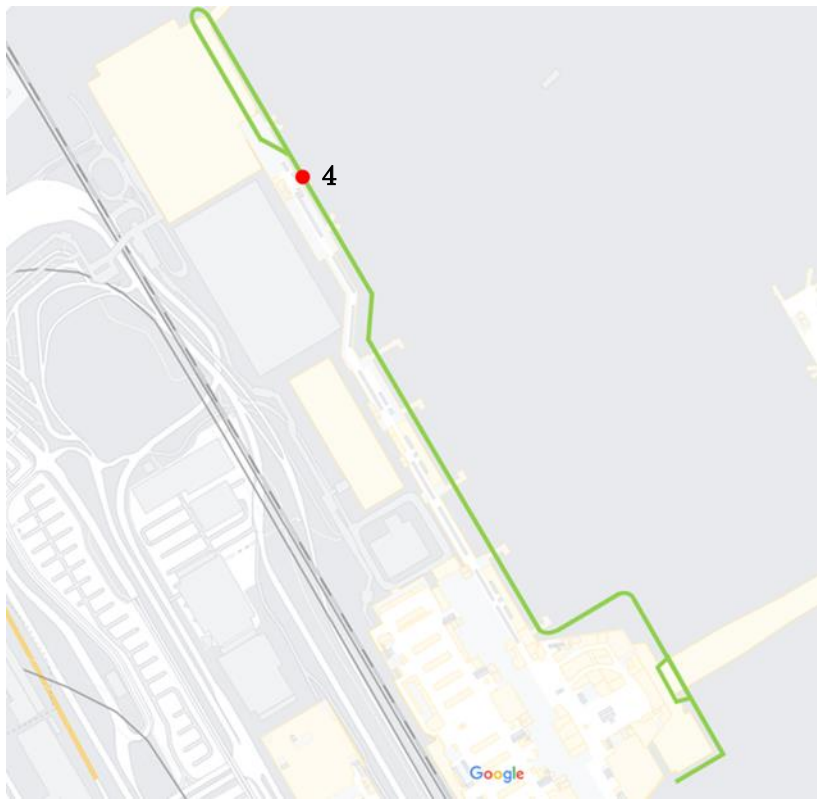


図 4-110 測定地点(地点番号 4)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-111 受信側映像

図 4-112 送信側映像

表 4-63 測定結果(地点番号 5)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
18	5	154番スポット	15:16:32	24	179	OK

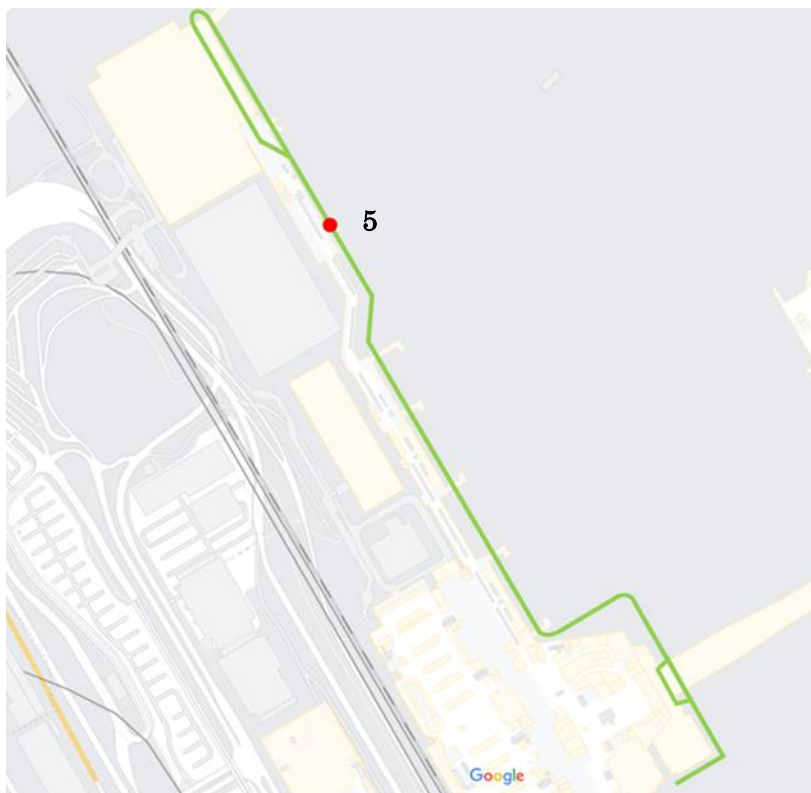


図 4-113 測定地点(地点番号 5)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-114 受信側映像

図 4-115 送信側映像

表 4-64 測定結果(地点番号 6)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
19	6	75番スポット交差点	15:17:08	26	207	OK

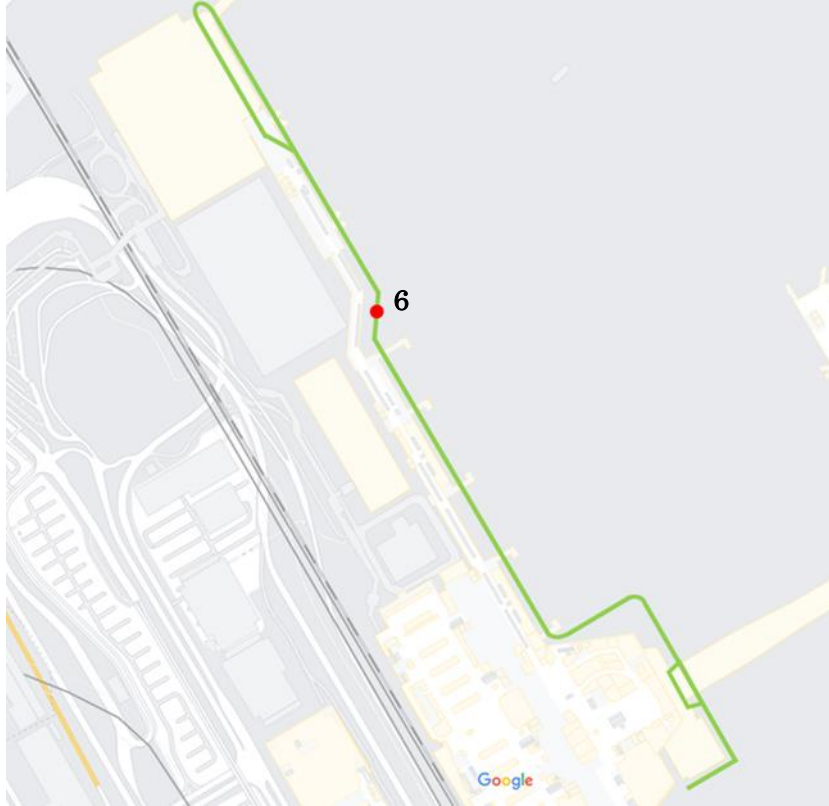


図 4-116 測定地点(地点番号 6)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-117 受信側映像

図 4-118 送信側映像



表 4-65 測定結果(地点番号 7)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
20	7	75番スポット	15:17:21	23	110	OK

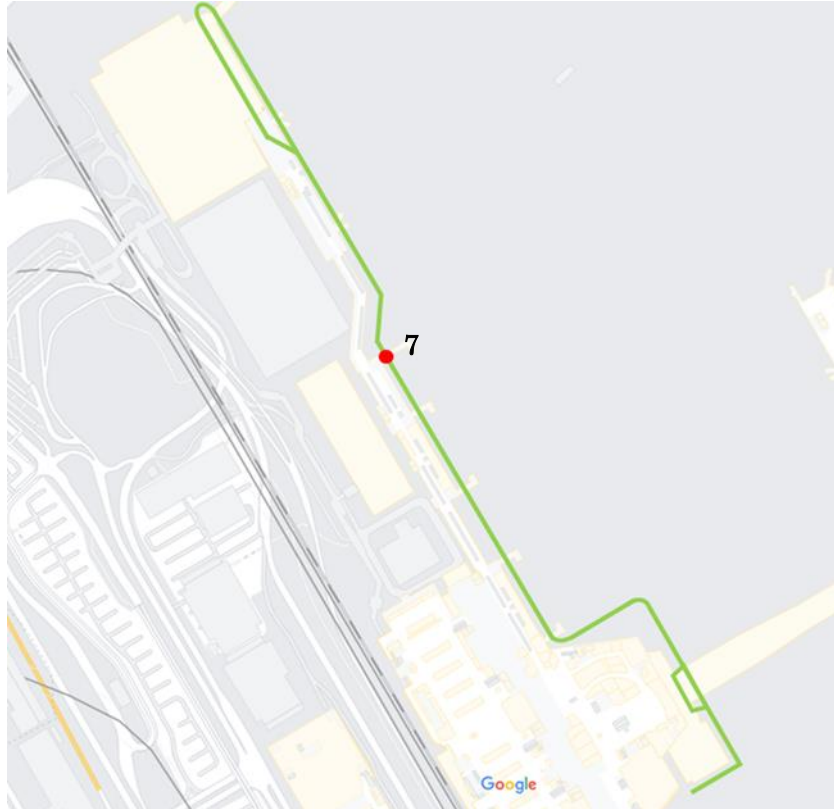


図 4-119 測定地点(地点番号 7)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-120 受信側映像

図 4-121 送信側映像

表 4-66 測定結果(地点番号 8)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
21	8	74番スポット	15:17:35	25	118	OK

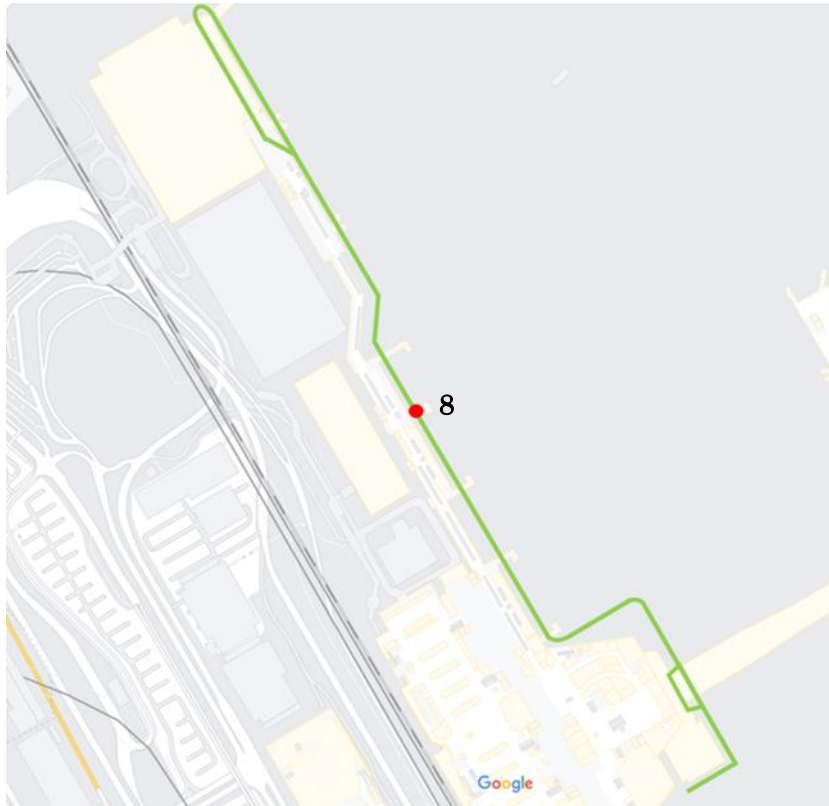


図 4-122 測定地点(地点番号 8)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-123 受信側映像

図 4-124 送信側映像

表 4-67 測定結果(地点番号 9)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
22	9	73番スポット	15:17:55	20	165	OK

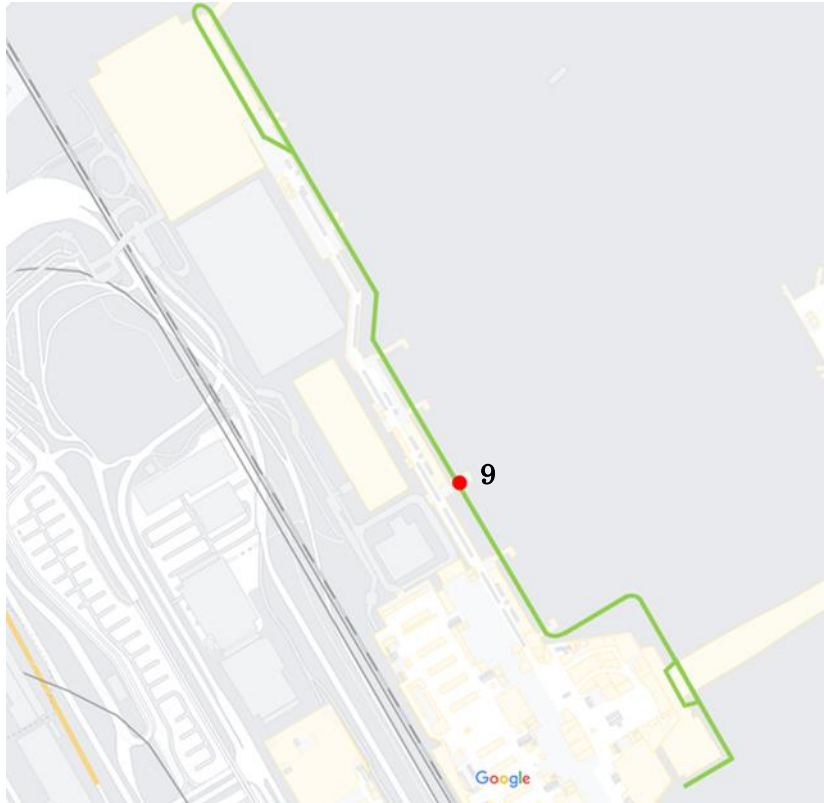


図 4-125 測定地点(地点番号 9)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

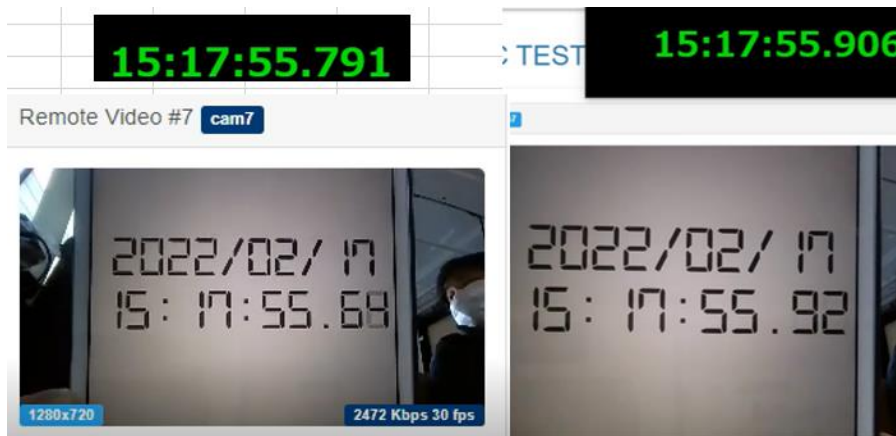


図 4-126 受信側映像

図 4-127 送信側映像

表 4-68 測定結果(地点番号 10)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
23	10	72番スポット	15:18:13	19	193	OK



図 4-128 測定地点(地点番号 10)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-129 受信側映像

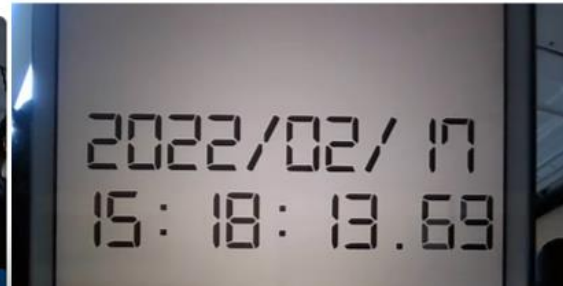


図 4-130 送信側映像

表 4-69 測定結果(地点番号 11)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
24	11	71番スポット	15:18:33	27	180	OK

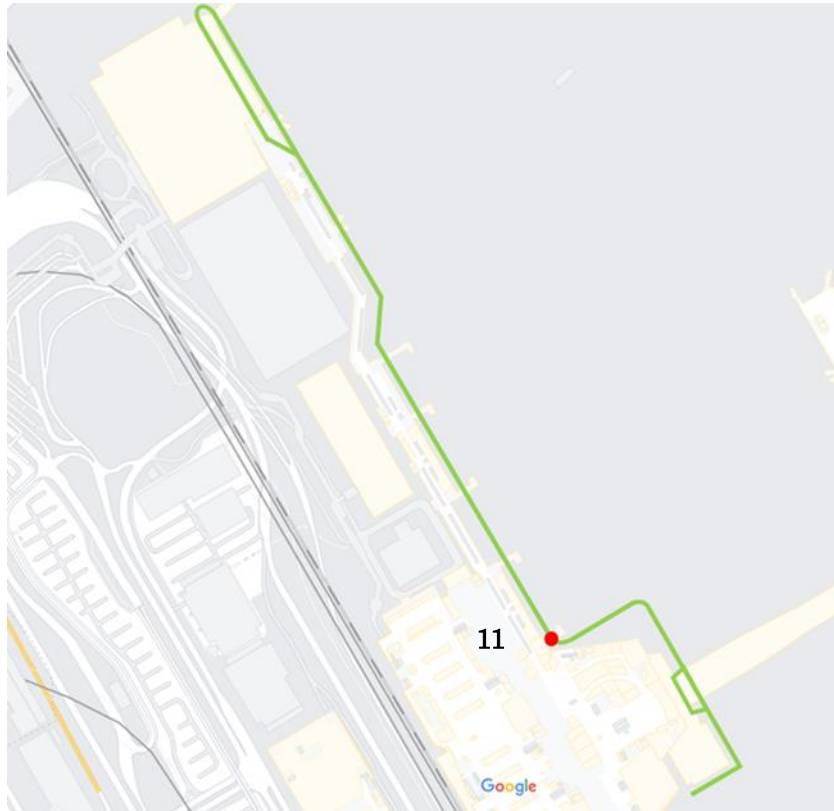


図 4-131 測定地点(地点番号 11)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-132 受信側映像

図 4-133 送信側映像

表 4-70 測定結果(地点番号 12)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
25	12	70番スポット交差点	15:19:03	23	204	OK

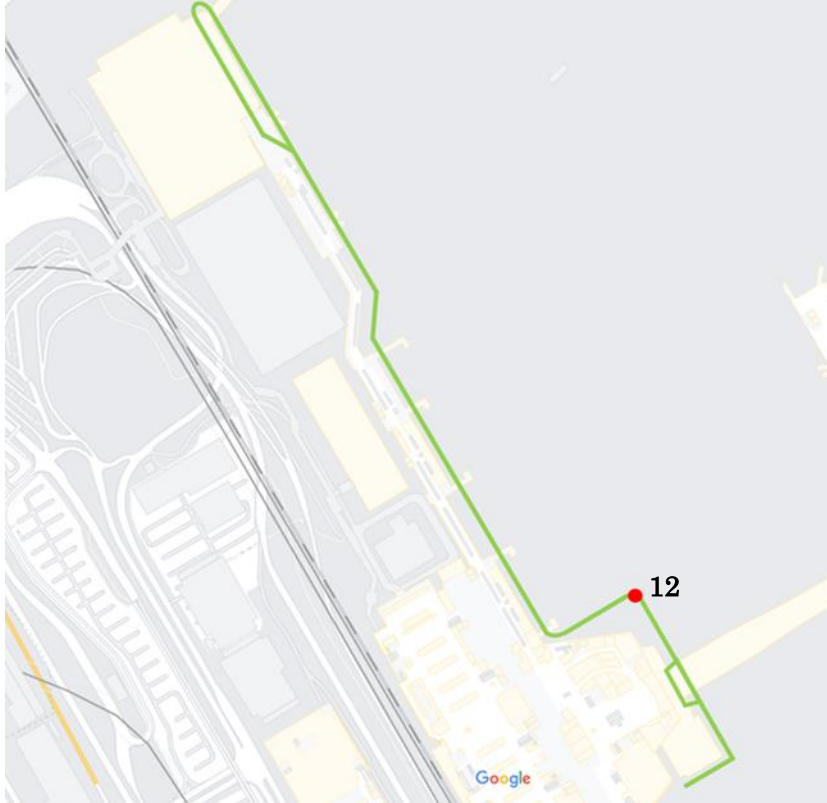


図 4-134 測定地点(地点番号 12)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-135 受信側映像

図 4-136 送信側映像

表 4-71 測定結果(地点番号 13)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
26	13	2ビル進入時	15:19:25	26	244	OK

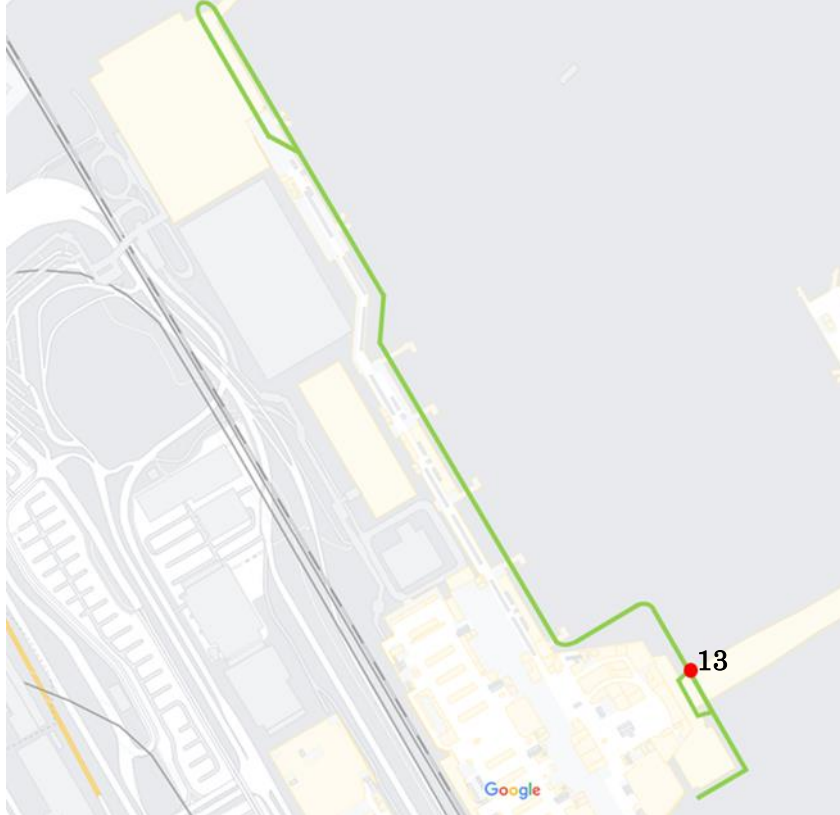


図 4-137 測定地点(地点番号 13)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-138 受信側映像

図 4-139 送信側映像

表 4-72 測定結果(地点番号 14)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
27	14	61番スポット交差点	15:19:53	21	140	OK



図 4-140 測定地点(地点番号 14)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-141 受信側映像

図 4-142 送信側映像



・測定2回目-2022年2月17日 15:25:56~15:36:07

表 4-73 測定結果(地点番号 15)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
1	15	2ビルバス停停車中	15:25:56	20	186	OK



図 4-143 測定地点(地点番号 15)

※※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-144 受信側映像

図 4-145 送信側映像

表 4-74 測定結果(地点番号 13)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
2	13	2ビル進入時	15:26:18	12	141	OK

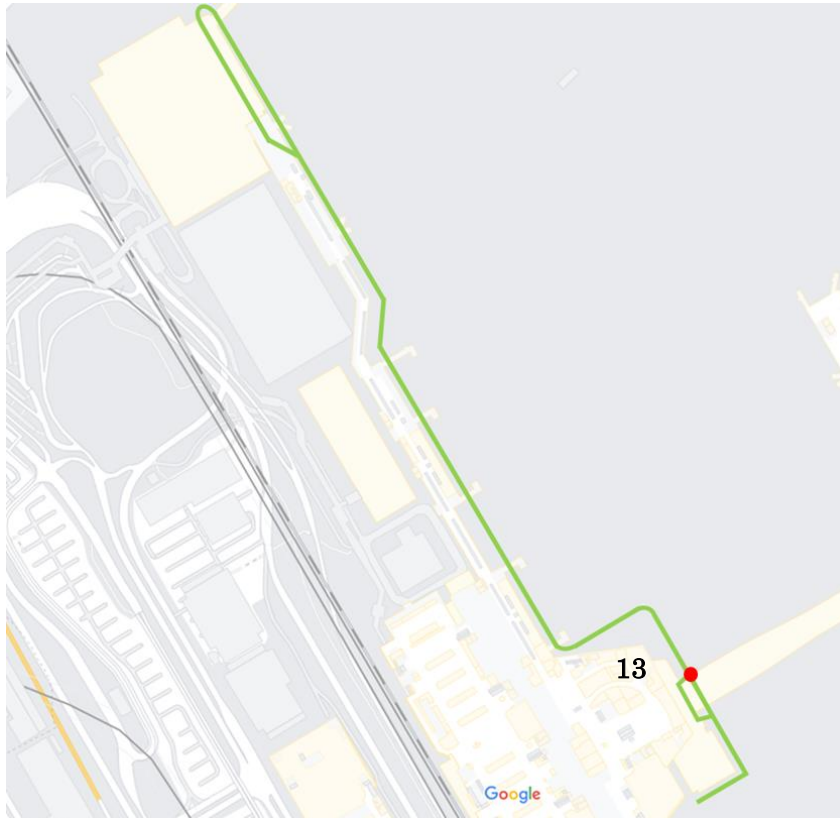


図 4-146 測定地点(地点番号 13)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-147 受信側映像

図 4-148 送信側映像

表 4-75 測定結果(地点番号 12)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
3	12	70番スポット交差点	15:26:32	14	165	OK



図 4-149 測定地点(地点番号 12)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

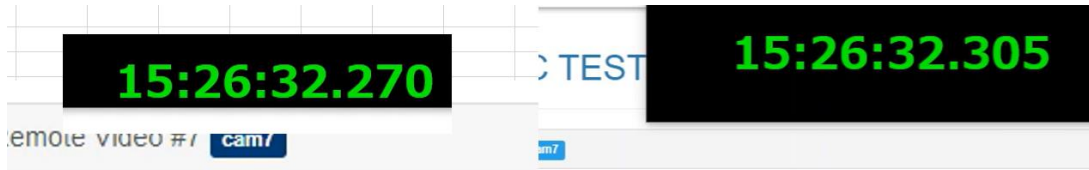


図 4-150 受信側映像



図 4-151 送信側映像

表 4-76 測定結果(地点番号 11)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
4	11	71番スポット	15:26:56	16	116	OK

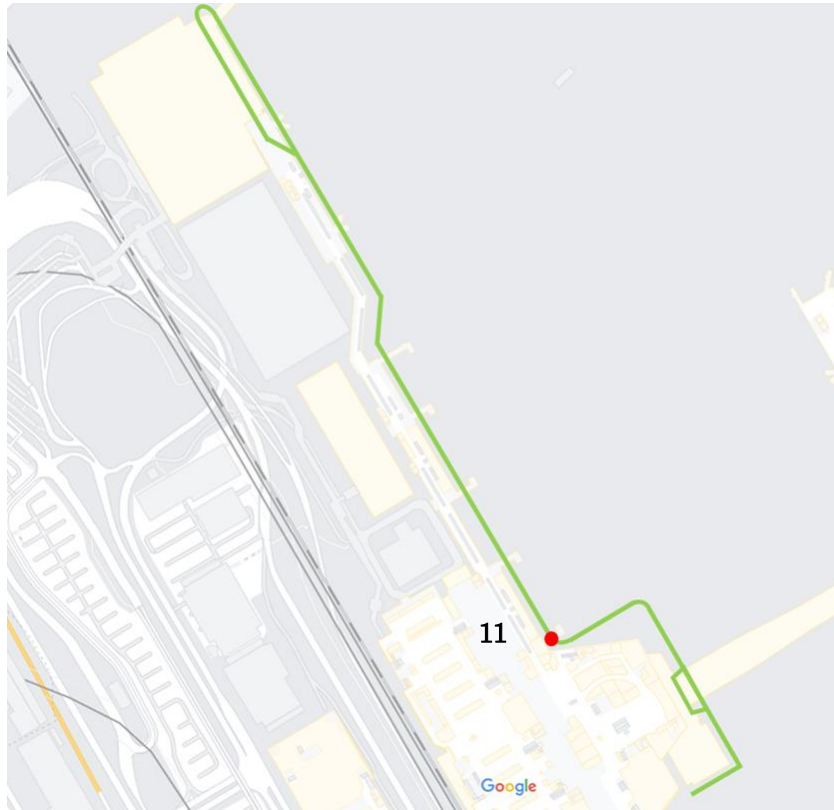


図 4-152 測定地点(地点番号 11)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

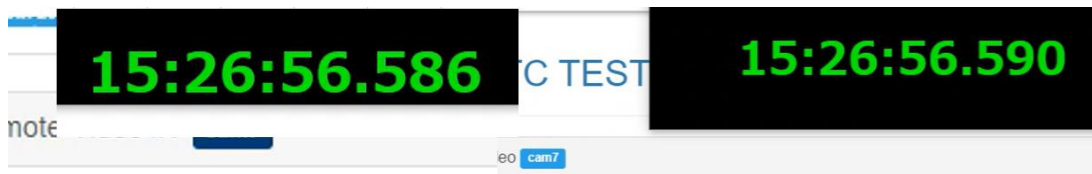


図 4-153 受信側映像



図 4-154 送信側映像

表 4-77 測定結果(地点番号 10)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
5	10	72番スポット	15:27:15	22	184	OK



図 4-155 測定地点(地点番号 10)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

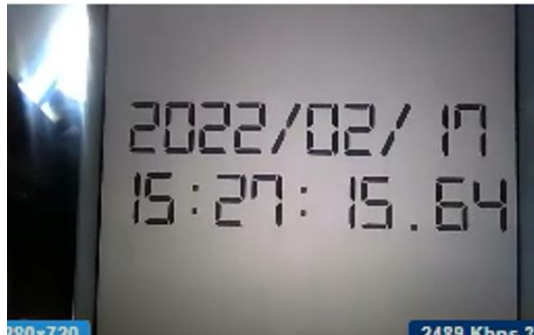


図 4-156 受信側映像

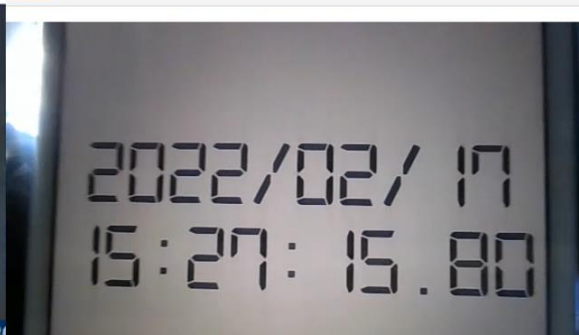


図 4-157 送信側映像

表 4-78 測定結果(地点番号 9)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
6	9	73番スポット	15:27:35	20	145	OK

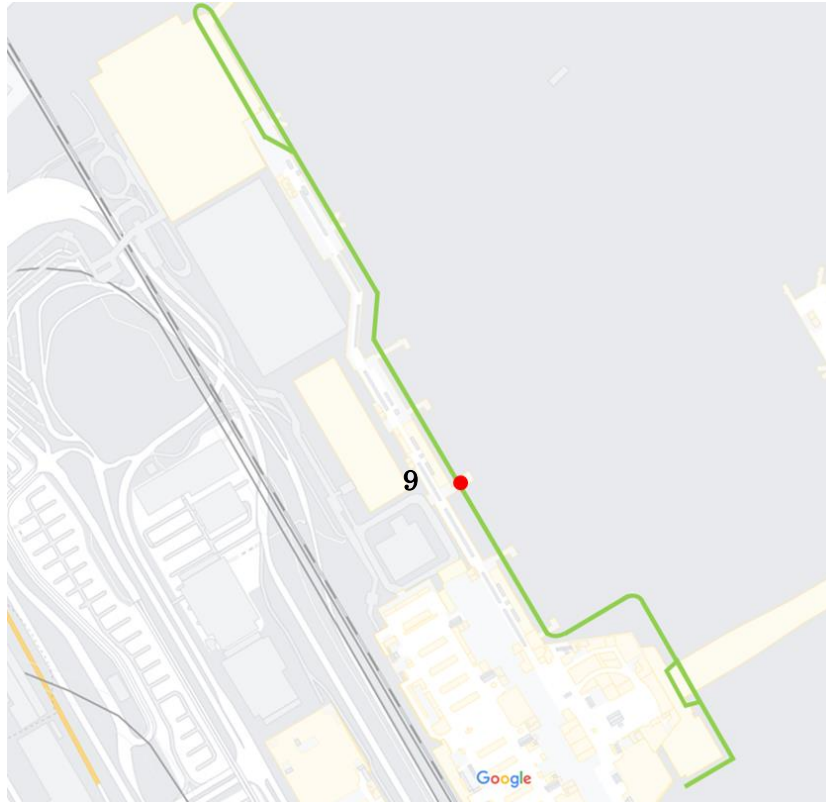


図 4-158 測定地点(地点番号 9)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

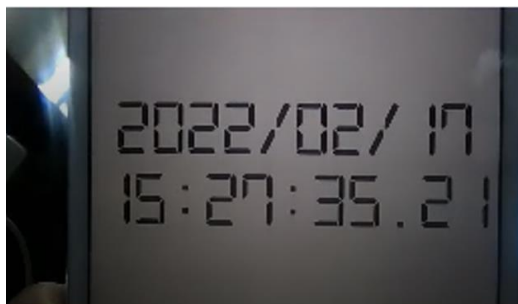
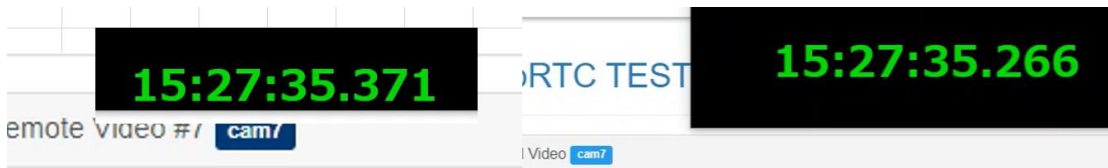


図 4-159 受信側映像

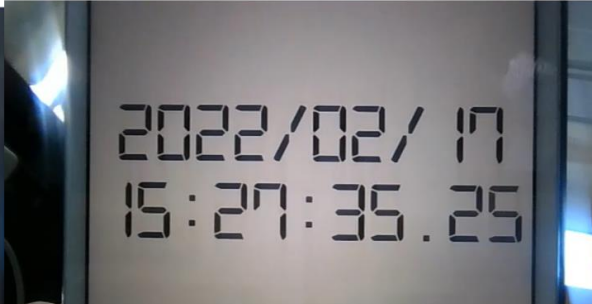


図 4-160 送信側映像

表 4-79 測定結果(地点番号 8)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
7	8	74番スポット	15:27:53	31	128	OK

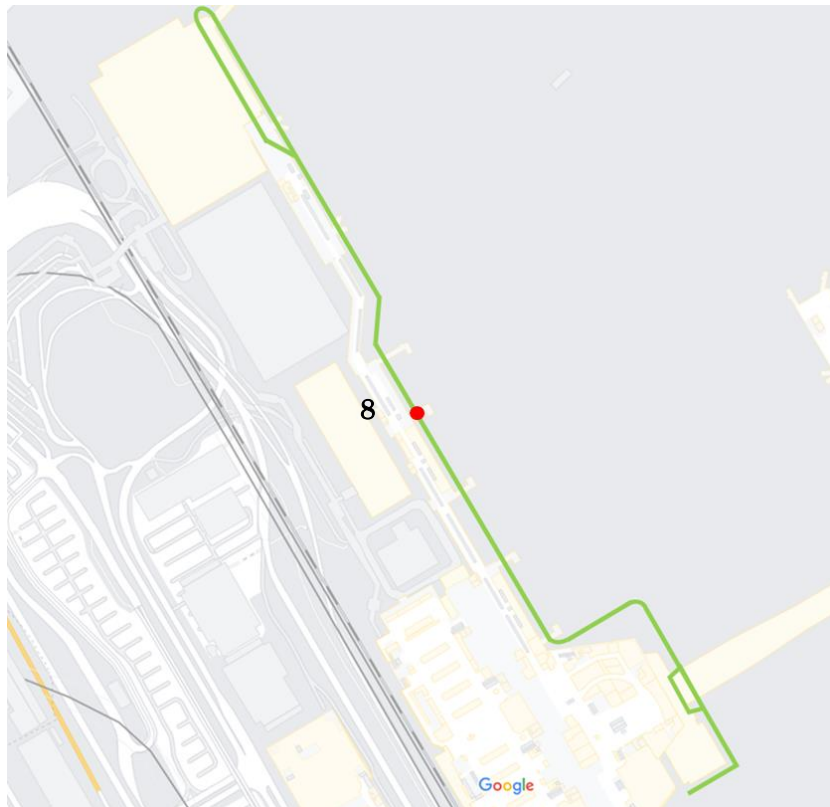


図 4-161 測定地点(地点番号 8)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

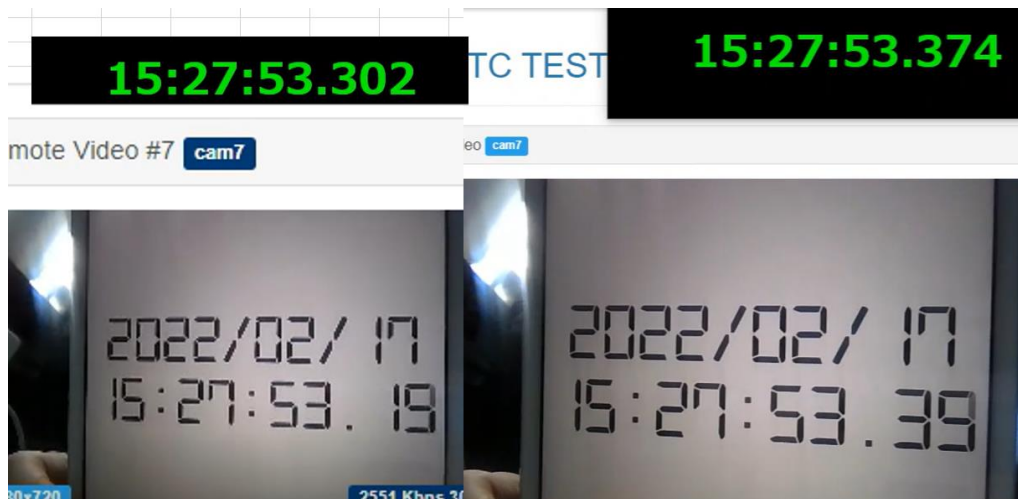


図 4-162 受信側映像

図 4-163 送信側映像

表 4-80 測定結果(地点番号 7)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
8	7	75番スポット	15:28:09	13	109	OK



図 4-164 測定地点(地点番号 7)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-165 受信側映像



図 4-166 送信側映像



表 4-81 測定結果(地点番号 6)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
9	6	75番スポット交差点	15:28:32	25	208	OK

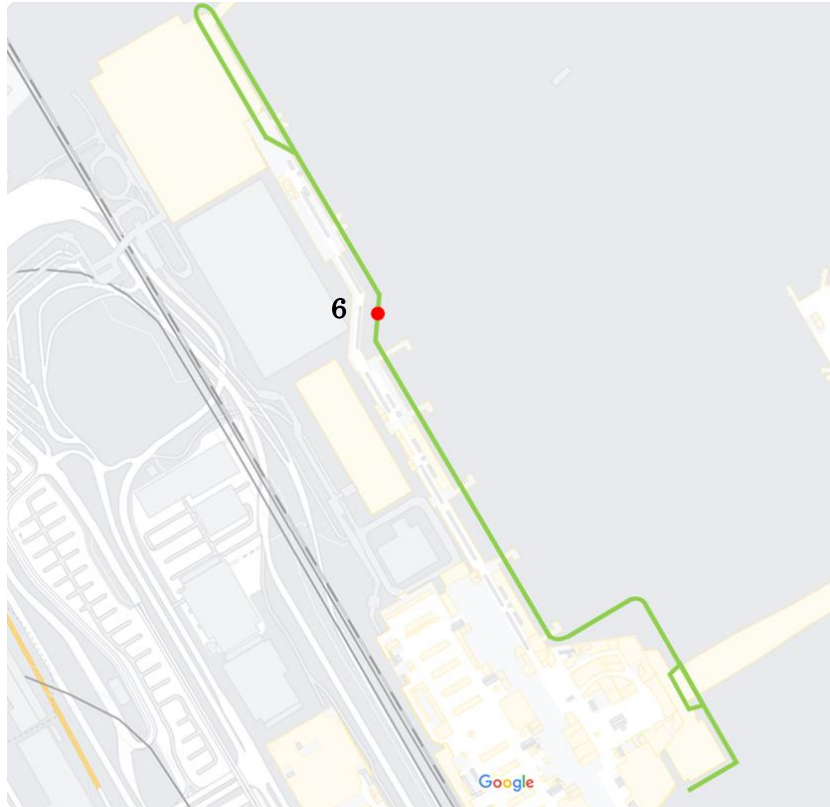


図 4-167 測定地点(地点番号 6)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

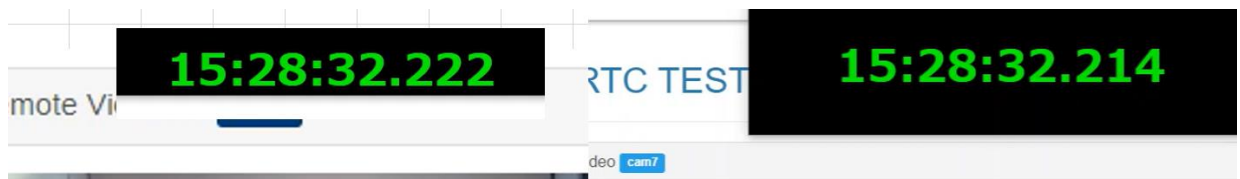


図 4-168 受信側映像

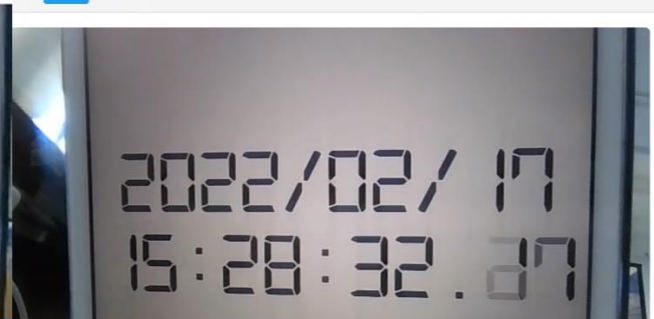


図 4-169 送信側映像

表 4-82 測定結果(地点番号 5)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
10	5	154番スポット	15:28:57	13	165	OK

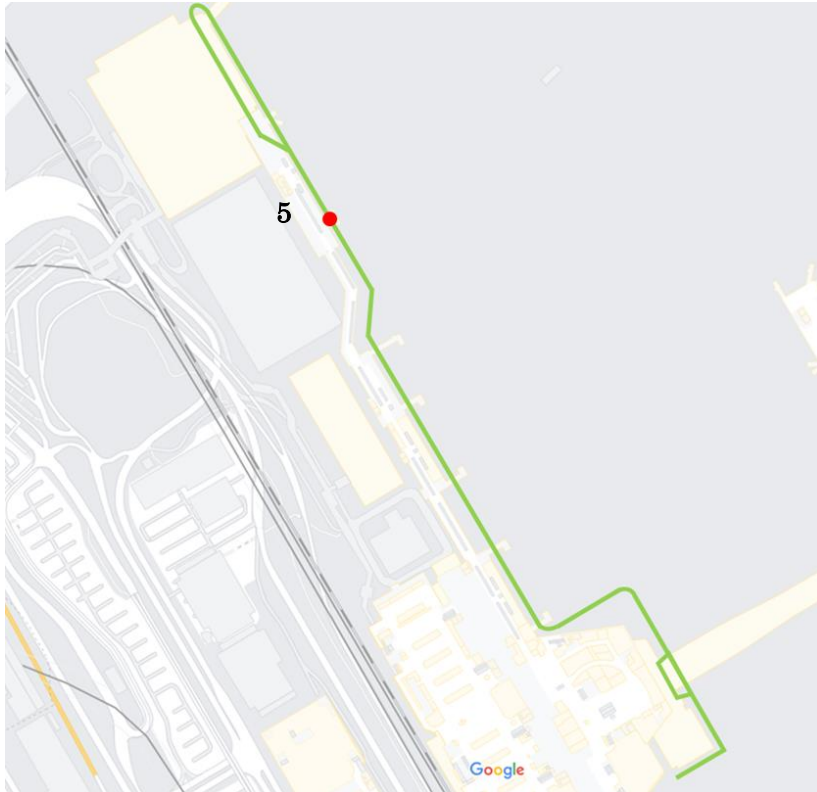


図 4-170 測定地点(地点番号 5)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

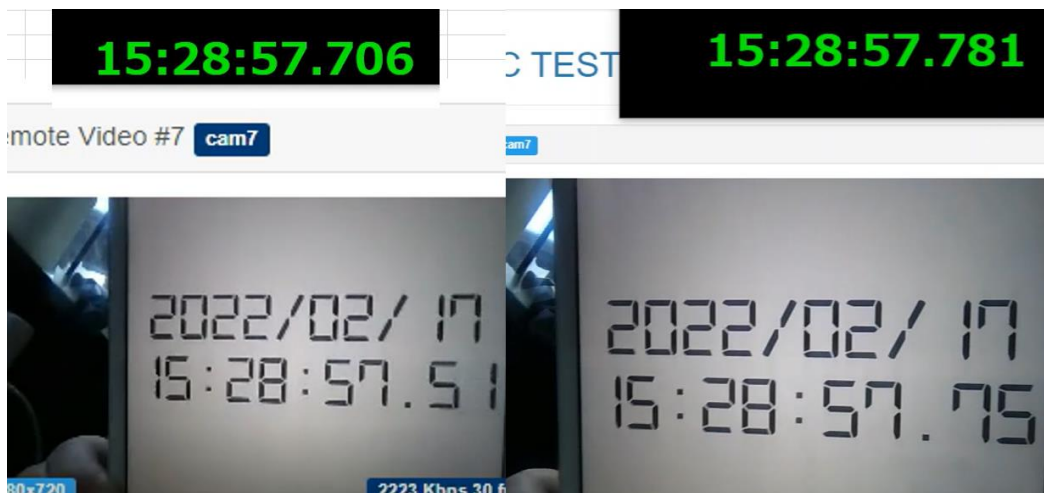


図 4-171 受信側映像

図 4-172 送信側映像

表 4-83 測定結果(地点番号 4)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
11	4	153番スポット	15:29:11	22	224	OK

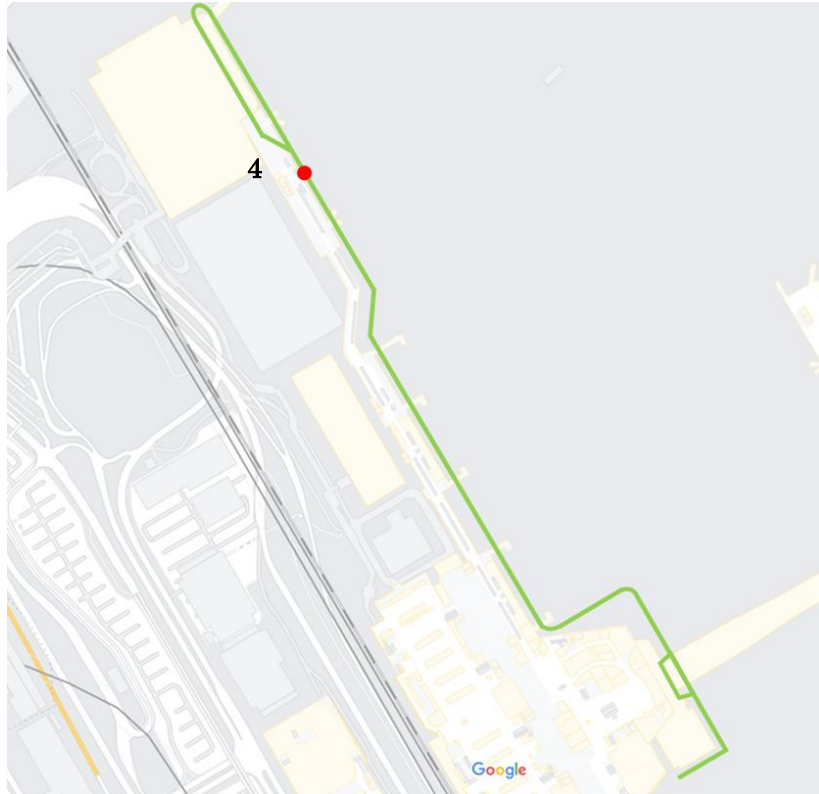


図 4-173 測定地点(地点番号 4)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-174 受信側映像

図 4-175 送信側映像

表 4-84 測定結果(地点番号 16)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
12	16	3ビル進入時	15:29:22	22	175	OK

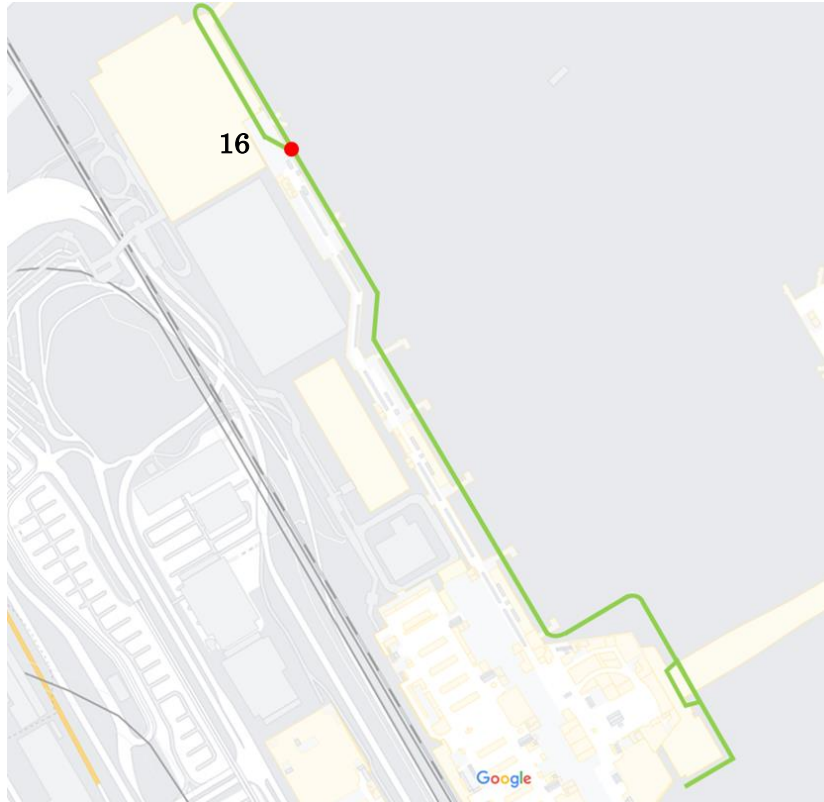


図 4-176 測定地点(地点番号 16)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-177 受信側映像

図 4-178 送信側映像

表 4-85 測定結果(地点番号 1)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
13	1	3ビルバス停停車中	15:29:43	18	118	OK

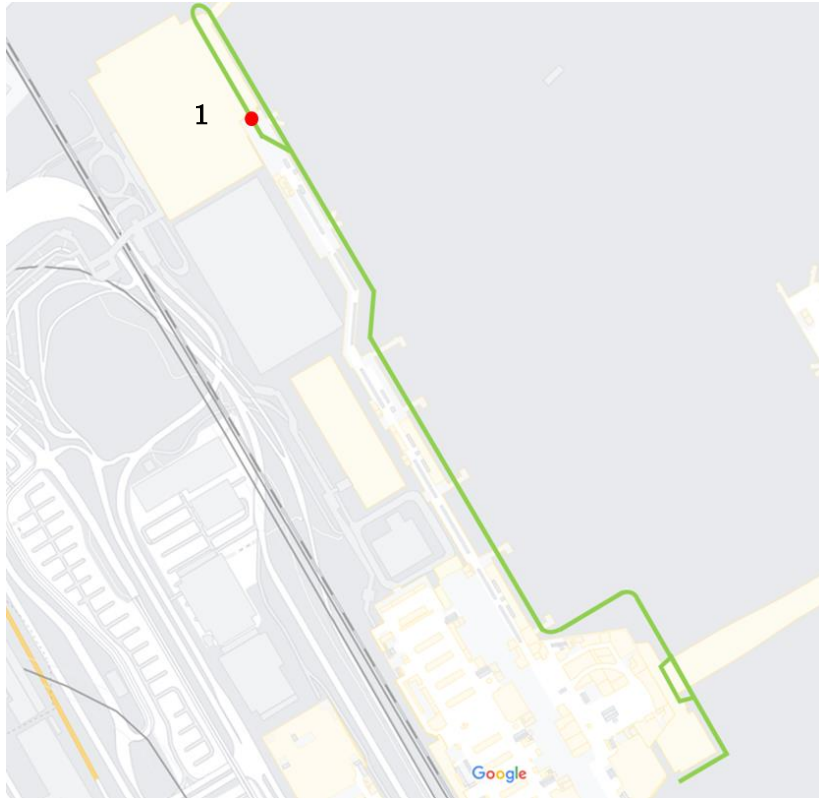


図 4-179 測定地点(地点番号 16)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

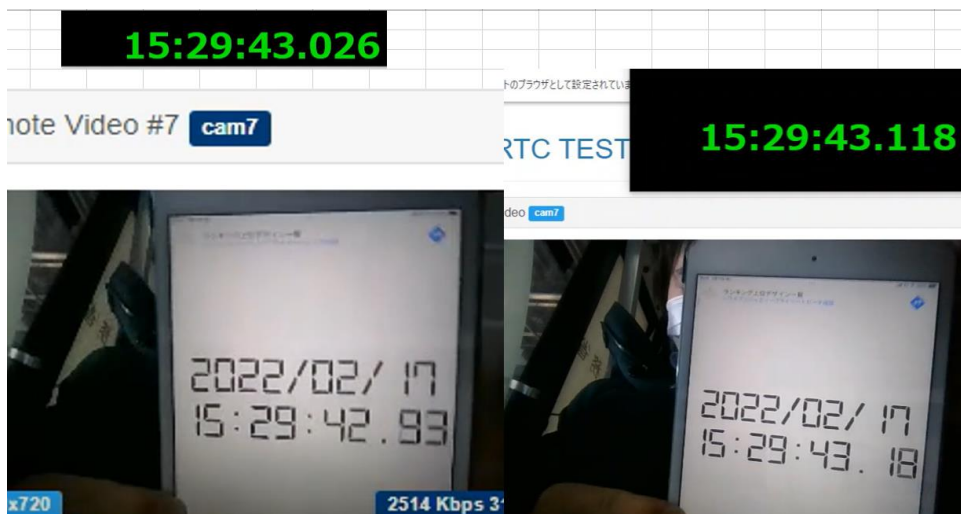


図 4-180 受信側映像

図 4-181 送信側映像

表 4-86 測定結果(地点番号 17)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
14	17	第3ビルUターン	15:31:31	10	184	OK

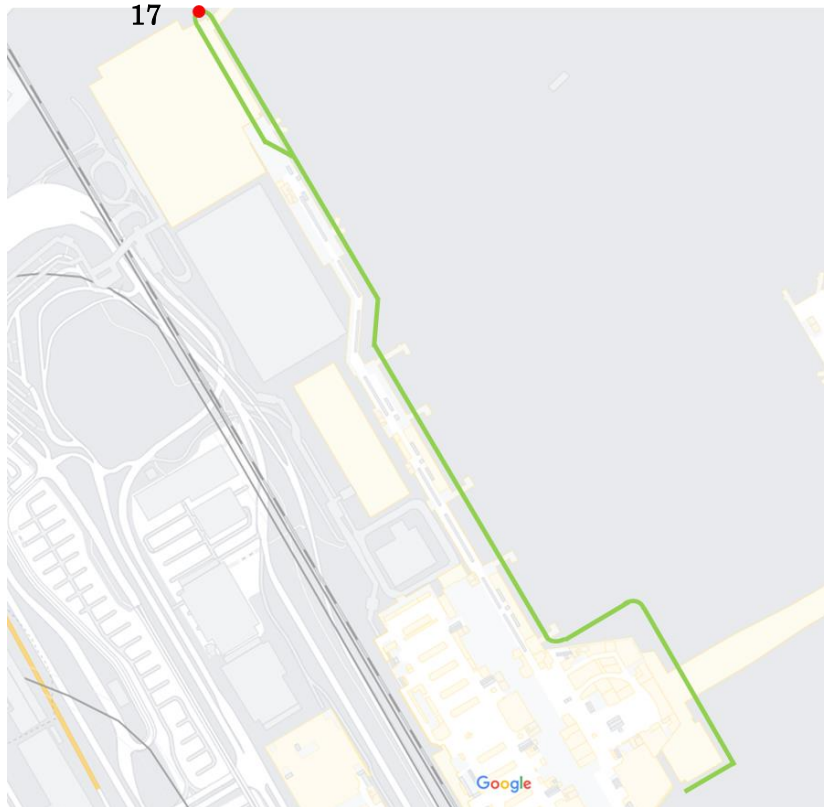


図 4-182 測定地点(地点番号 17)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

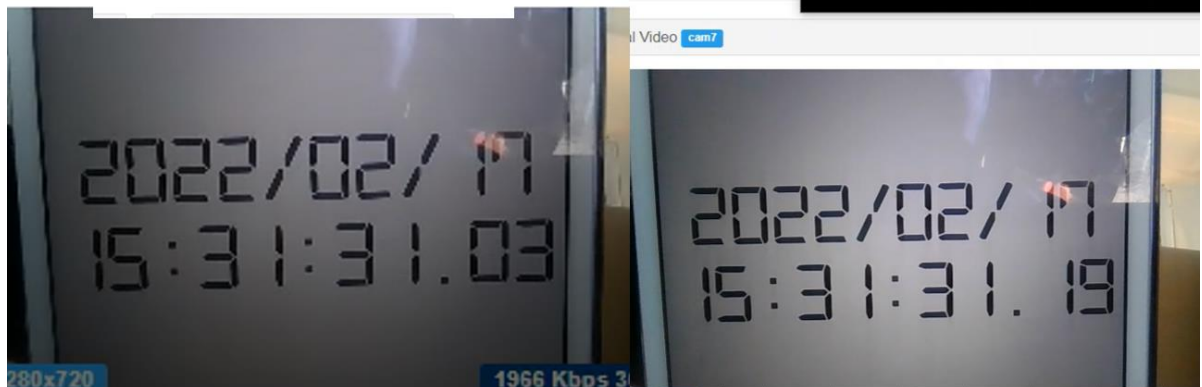


図 4-183 受信側映像

図 4-184 送信側映像

表 4-87 測定結果(地点番号 2)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
15	2	151番スポット	15:32:11	10	121	OK

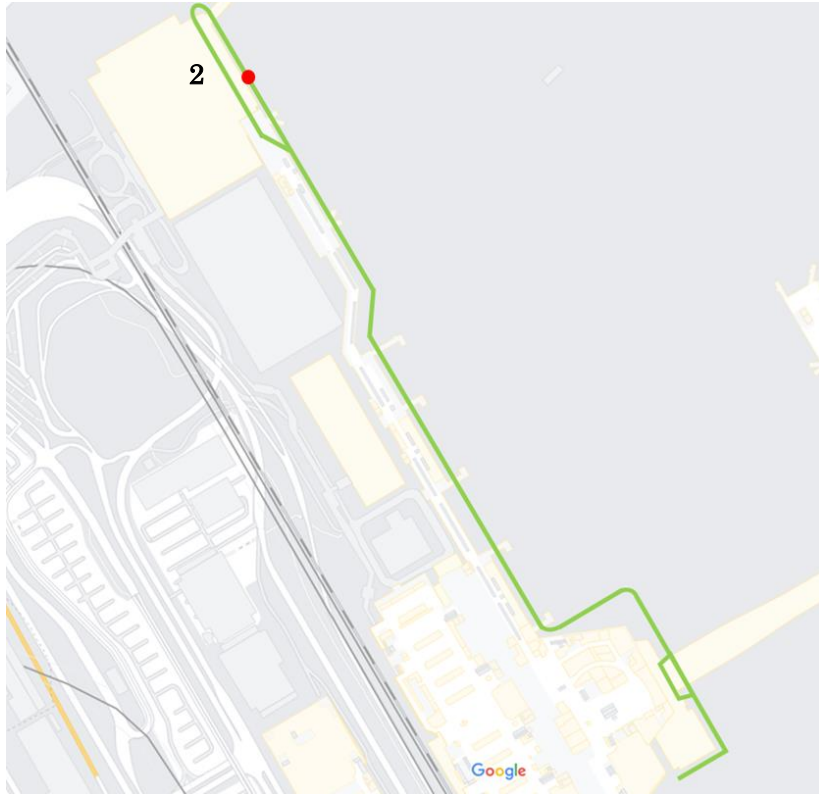


図 4-185 測定地点(地点番号 2)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-186 受信側映像

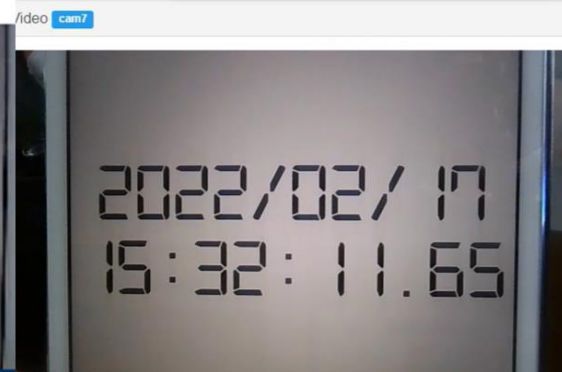


図 4-187 送信側映像

表 4-88 測定結果(地点番号 3)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
16	3	152番スポット	15:32:18	26	185	OK

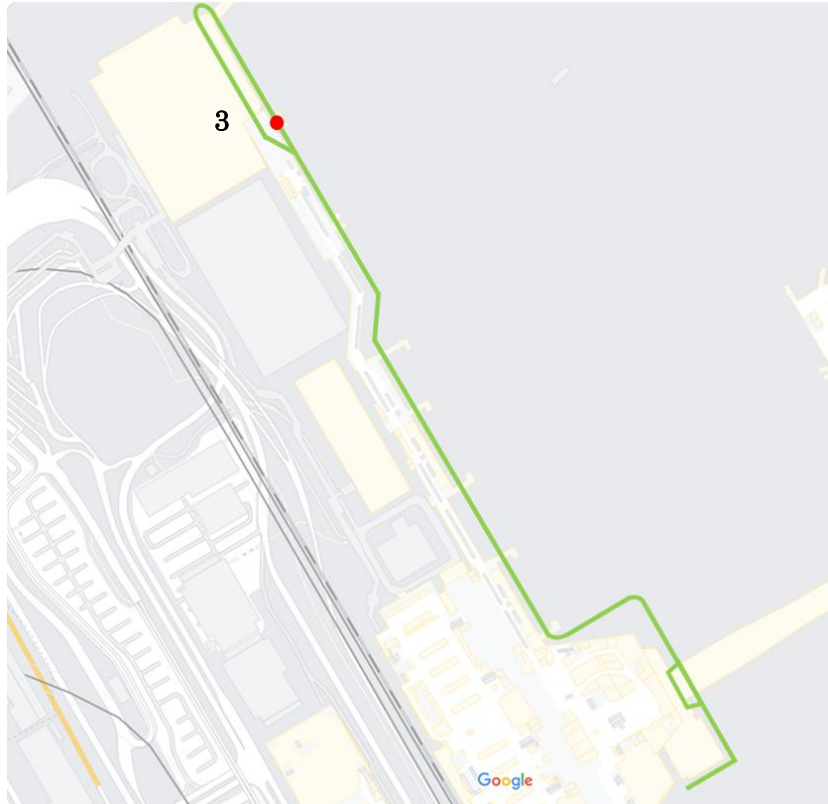


図 4-188 測定地点(地点番号 3)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

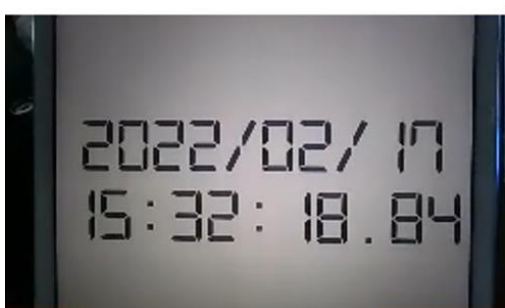


図 4-189 受信側映像



図 4-190 送信側映像



表 4-89 測定結果(地点番号 4)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
17	4	153番スポット	15:32:28	20	132	OK

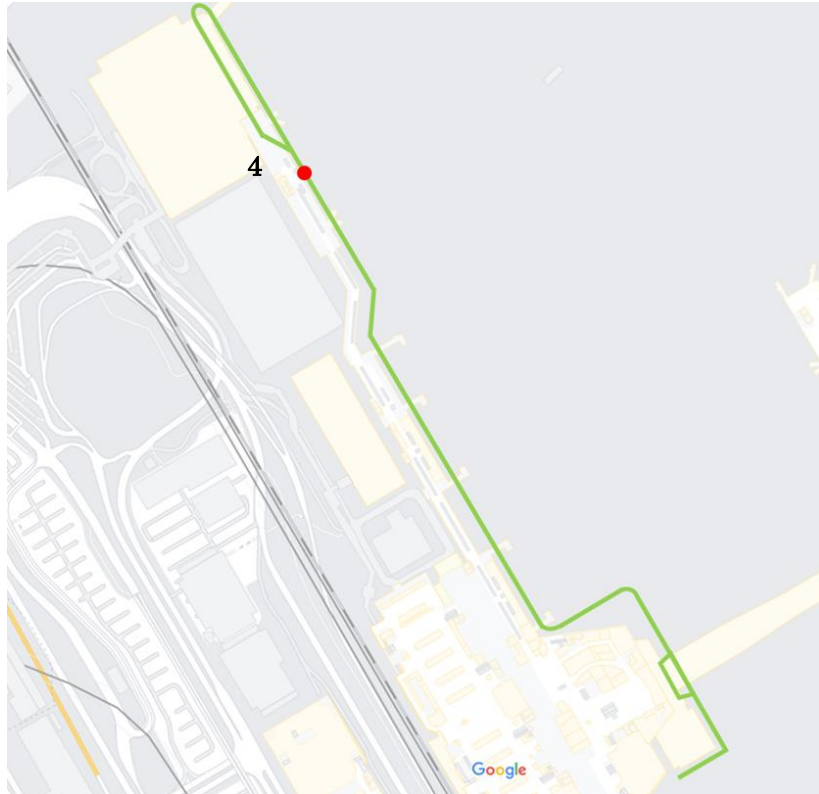


図 4-191 測定地点(地点番号 4)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

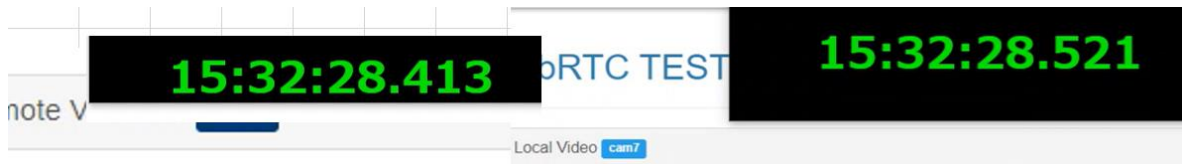


図 4-192 受信側映像



図 4-193 送信側映像

表 4-90 測定結果(地点番号 5)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
18	5	154番スポット	15:32:45	14	113	OK

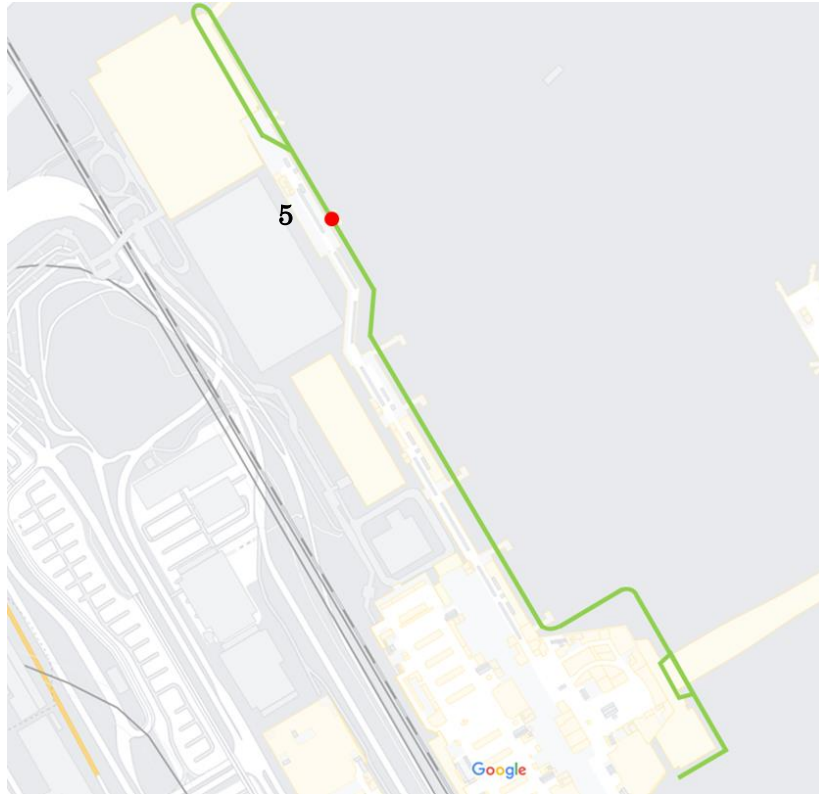


図 4-194 測定地点(地点番号 5)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-195 受信側映像

図 4-196 送信側映像

表 4-91 測定結果(地点番号 6)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
19	6	75番スポット交差点	15:33:02	13	176	OK

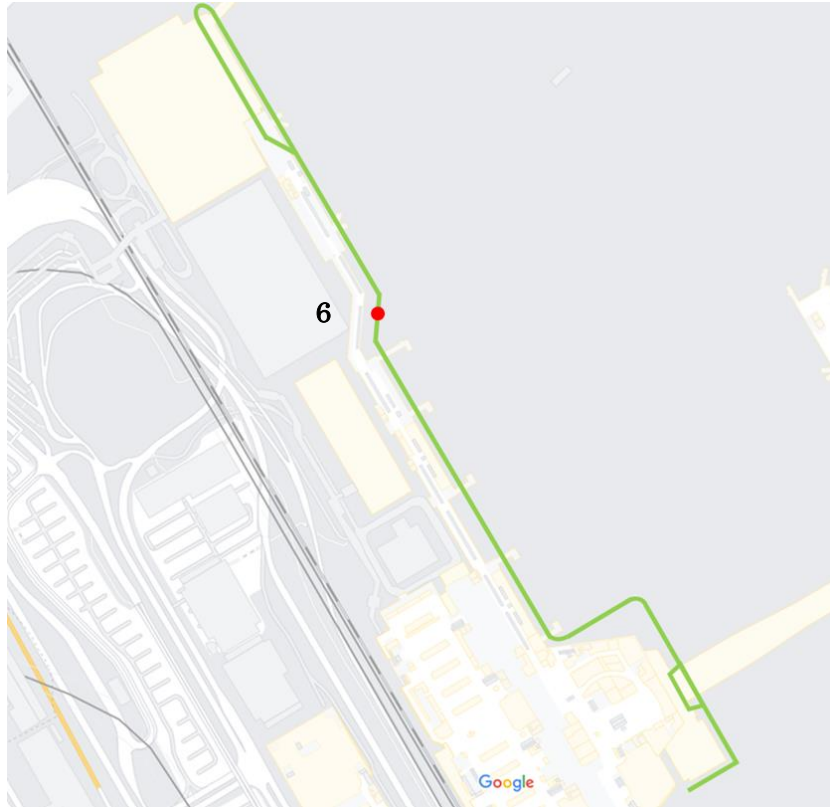


図 4-197 測定地点(地点番号 6)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-198 受信側映像

図 4-199 送信側映像

表 4-92 測定結果(地点番号 7)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
20	7	75番スポット	15:33:35	14	58	OK



図 4-200 測定地点(地点番号 7)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-201 受信側映像

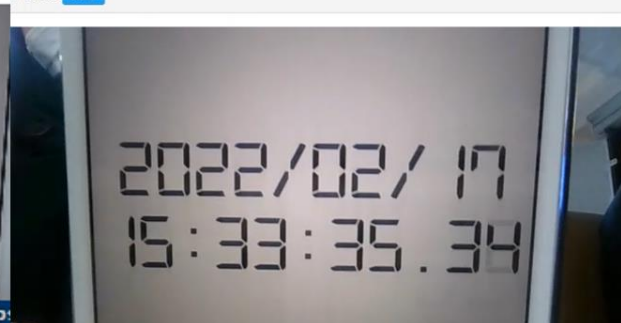


図 4-202 送信側映像

表 4-93 測定結果(地点番号 8)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
21	8	74番スポット	15:33:49	12	165	OK

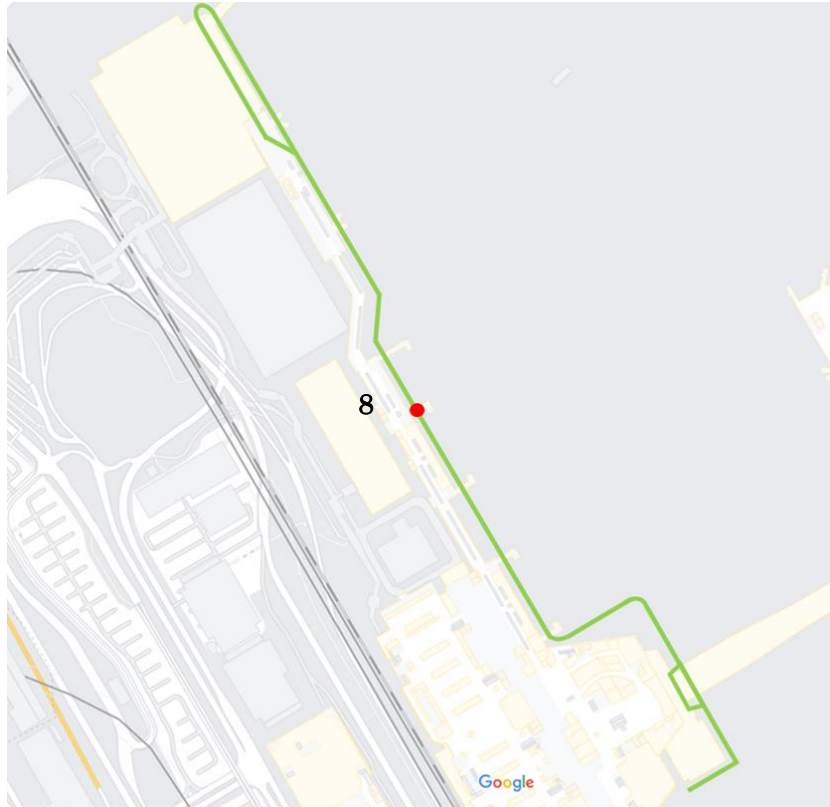


図 4-203 測定地点(地点番号 8)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-204 受信側映像

図 4-205 送信側映像

表 4-94 測定結果(地点番号 9)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
22	9	73番スポット	15:34:09	19	103	OK

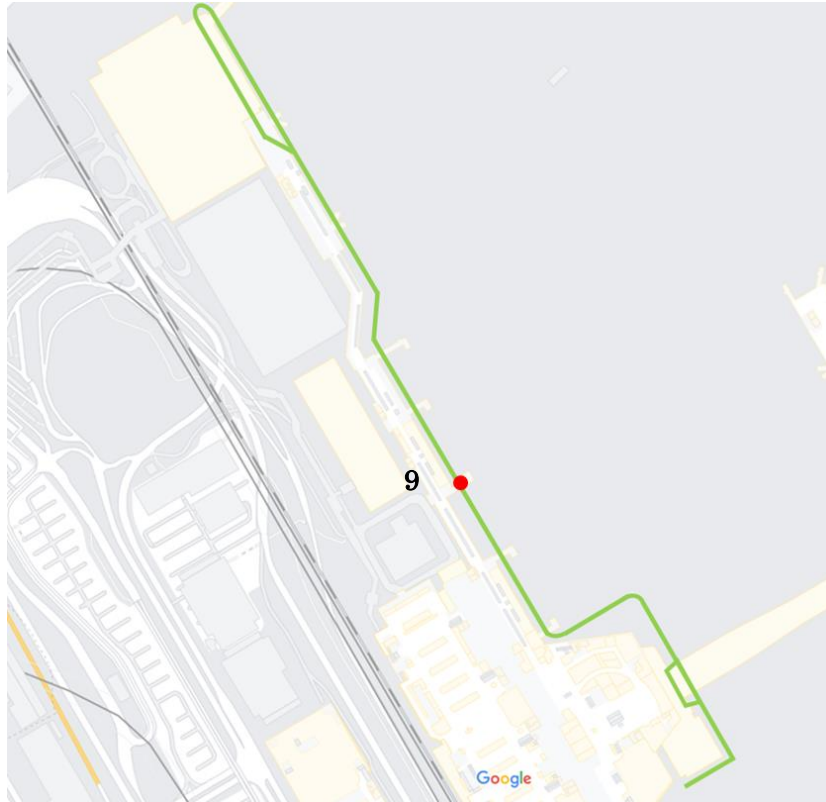


図 4-206 測定地点(地点番号 9)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-207 受信側映像

図 4-208 送信側映像

表 4-95 測定結果(地点番号 10)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
23	10	72番スポット	15:34:26	14	221	OK



図 4-209 測定地点(地点番号 10)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

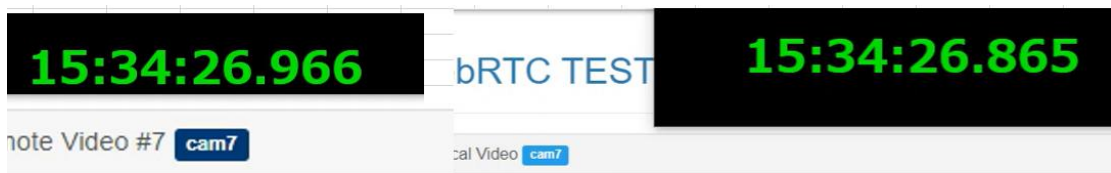


図 4-210 受信側映像

図 4-211 送信側映像

表 4-96 測定結果(地点番号 11)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
24	11	71番スポット	15:34:47	12	179	OK



図 4-212 測定地点(地点番号 11)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

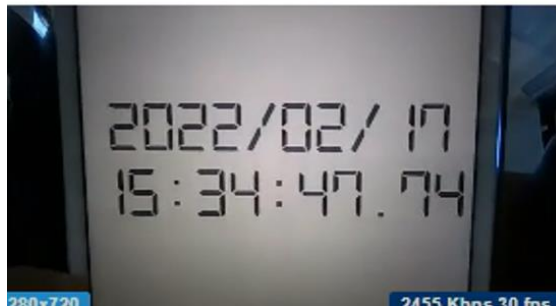
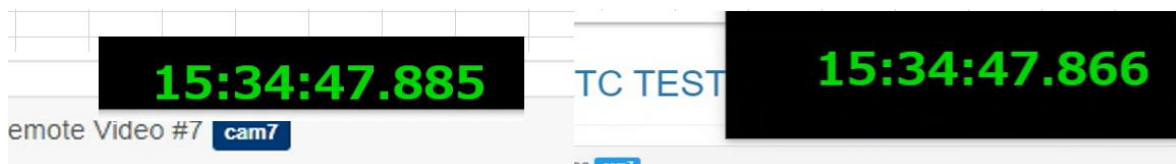


図 4-213 受信側映像



図 4-214 送信側映像



表 4-97 測定結果(地点番号 12)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
25	12	70番スポット交差点	15:35:18	31	218	OK



図 4-215 測定地点(地点番号 12)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

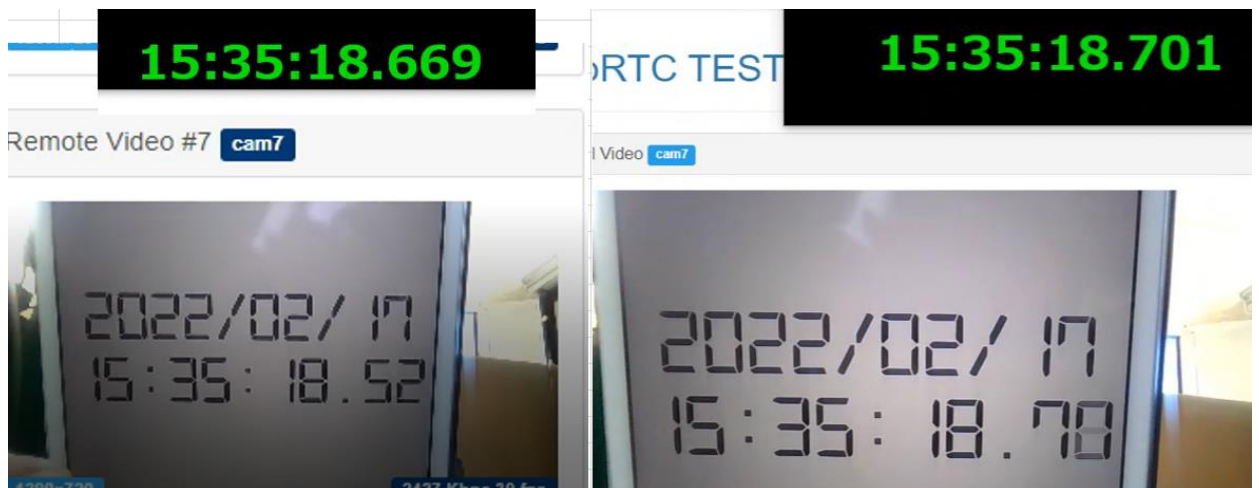


図 4-216 受信側映像

図 4-217 送信側映像

表 4-98 測定結果(地点番号 13)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
26	13	2ビル進入時	15:35:39	15	167	OK



図 4-218 測定地点(地点番号 13)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。

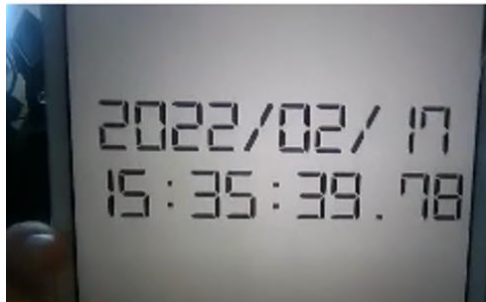
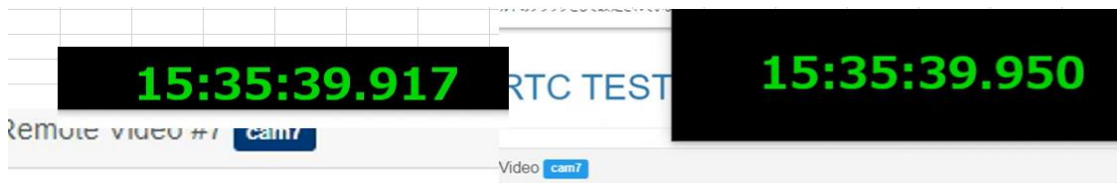


図 4-219 受信側映像



図 4-220 送信側映像

表 4-99 測定結果(地点番号 14)

項番	測定地点	ランドマーク	送信側時刻	RTT(msec)	映像遅延(msec)	KPI:400msec以内
27	14	61番スポット交差点	15:36:07	20	187	OK

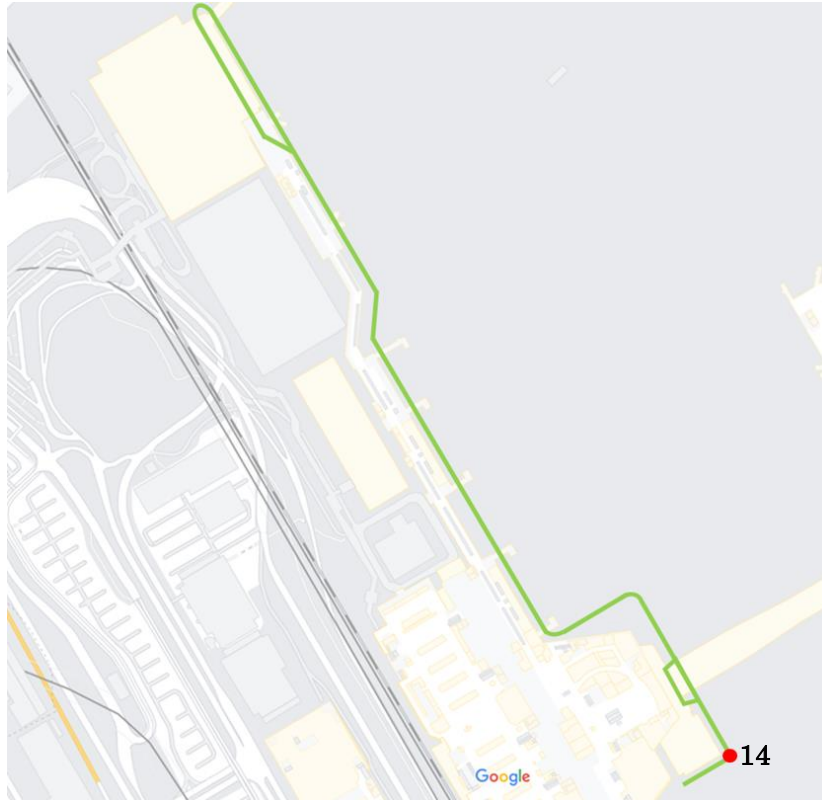


図 4-221 測定地点(地点番号 14)

※映像遅延(msec)は共通の NICT 公開 NTP サービスの時刻を基準にそれぞれ下図のとおり送受信映像のズレを考慮した差とします。



図 4-222 受信側映像



図 4-223 送信側映像

b) 遠隔監視システム評価

自動運転車両および遠隔監視システム間においても同様の遅延計測を実施しました。ローカル5Gによる遅延影響なく、所望のKPI達成を確認できた(映像遅延400msec以内)。

表 4-100 遠隔監視システムでの遅延評価

地点番号	計測地点名	映像遅延	画質	FPS
		[sec]	(解像度)	[frame/sec]
KPI		<0.4	HD	9
KPI充足判断		OK	OK	OK
15	2ビルバス停	0.369	HD	22
13	2ビル建物下	0.331	HD	25
12	一時停止線脇	0.346	HD	26
11	71番スポット	0.349	HD	21
10	72番スポット	0.338	HD	25
9	73番スポット	0.321	HD	25
8	74番スポット	0.31	HD	21
7	75番スポット	0.317	HD	22
6	75番スポット交差点	0.237	HD	22
5	154番スポット	0.261	HD	25
4	153番スポット	0.278	HD	23
16	3ビル進入時	0.286	HD	22
1	3ビルバス停停車中	0.336	HD	26
1	3ビルバス停停車中	0.389	HD	24
17	第3ビルUターン	0.389	HD	24
2	151番スポット	0.276	HD	23
3	152番スポット	0.321	HD	26
4	153番スポット	0.276	HD	21
5	154番スポット	0.316	HD	23
6	75番スポット交差点	0.333	HD	23
7	75番スポット	0.275	HD	19
8	74番スポット	0.282	HD	21
9	73番スポット	0.349	HD	24
10	72番スポット	0.332	HD	25
11	71番スポット	0.343	HD	24
12	70番スポット交差点	0.248	HD	21
13	2ビル進入時	0.317	HD	24
14	61番スポット交差点	0.35	HD	25
15	2ビルバス停	0.326	HD	24

#### ④ スループット計測

実験実施日時：2022年2月24日 10:00-12:00

自動運転車両の同一実験車において、キャリア通信およびローカル5GのUDPプロトコルにおけるスループット（アップロード、ダウンロード）を実施しました。

表 4-101 実験実施日時における環境計測（スループット計測結果）

地点	ランドマーク	UDP アップロード速度[Mbps]			UDP ダウンロード速度[Mbps]	
		キャリア	ローカル5G	判定	キャリア	ローカル5G
	KPI	35	35	-		-
15	2 ビルバス停	68	71	OK	214	468
13	2 ビルバス停出口	50	105	OK	302	464
12	70 番ランプ交差点 (基地局位置)	42	111	OK	319	872
11	71 番スポット	69	94	OK	307	728
10	72 番スポット	78	66	OK	252	514
9	73 番スポット	75	88	OK	277	814
8	74 番スポット	54	93	OK	228	870
7	75 番スポット (基地局位置)	58	110	OK	254	856
6	71 番スポット先 交差点	36	106	OK	170	858
5	154 番スポット	9	90	OK	43	852
4	153 番スポット	29	115	OK	56	853
16	3 ビルバス停入口	21	114	OK	44	840
1	3 ビルバス停	36	100	OK	68	840
17	3 ビルUターン	36	90	OK	232	274
2	151 番スポット	15	108	OK	21	514
3	152 番スポット (基地局位置)	11	114	OK	76	492
4	153 番スポット	11	114	OK	72	490
5	154 番スポット	12	114	OK	73	536
6	75 番スポット先 交差点	35	104	OK	153	500
7	75 番スポット (基地局位置)	40	103	OK	320	844
8	74 番スポット	40	111	OK	326	582
9	73 番スポット	35	107	OK	326	430
10	72 番スポット	20	80	OK	38	157
11	71 番スポット	33	73	OK	309	270
12	70 番ランプ交差点 (基地局位置)	18	91	OK	250	366
13	2 ビルバス出口	11	91	OK	58	416
14	2 ビルバス停	15	47	OK	53	300

(4) 必要に応じて、電波の品質改善等を実施

自動運転実験車において要求を充足できているため、特に電波品質改善等は実施しませんでした。

#### 4.4.1.3 運用検証

##### (1) 評価・検証項目

- ・項目①ユーザ企業及び運用委託企業における日々の運用において、実用に耐えうるものであること
  1. 操作性
  2. 保守体制の構築
  3. 稼働時間
  4. セキュリティ 等
  
- ・項目②空港内運用ルール及び要件が策定されていること
  1. 道路要件
  2. 車両要件
  3. 運転者要件
  4. 遠隔監視要件
  5. ローカル5G要件 等
  
- ・項目③運用上問題ないことを関係省庁との調整やガイドライン、法令等にて確認が取れていること 等
  1. 国土交通省「空港制限区域内における自動運転車両の走行ガイダンス」及び「安全性のチェックリスト」への適合性
  2. 国土交通省「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」における有識者等の指摘等への対応
  3. ローカル5Gの運用についての総務省の指摘等への対応 等

なお、これらの項目については基準化されていない領域であるため、妥当な基準/KPI の特定を実施したうえで、基準/KPI の設定方法について検討します。

## (2) 評価・検証方法

項目①ユーザ企業及び運用委託企業における日々の運用において、実用に耐えうるものであること

(a) 操作性 評価方法：

複数環境下でのテスト走行、非常時を想定したシミュレーションによるデータ取得遠隔監視における操作画面（UI）等を確認し、それを想定している運用委託会社に対して、ヒアリング調査を行い、日々の運用の懸念点・課題等を把握します。

(b) 保守体制の構築 評価方法：

以下の項目等について保守要件を設定する。その要件において、実運用上耐えうるものであるかを項目ごとに判定します。

表 4-102 保守体制の構築・評価方法

	項目案
1	保守対応時間
2	保守駆け付け時間
3	保守点検
4	運用監視（稼働監視、障害連絡、監視機能の定期更新等）
5	ソフトウェア等バージョンアップ
6	障害時調査、復旧対応
7	ログ取得
8	技術支援
9	緊急時対応
10	セキュリティポリシーの確立 等

(c) 稼働時間 評価方法：

本実証を踏まえた稼働可能時間と実運用における乖離を測定します。

(d) 情報セキュリティ 評価方法：

成田空港の情報セキュリティ規定に準じた方法で検証します。



項目②空港内運用ルール及び要件が策定されていること

以下の項目について、それぞれ要件を設定し、運用上問題ないかの可否を判定します。

表 4-103 空港内運用・管理要件

運用・管理要件	記載項目例
1. 道路要件	道路状態（落下物、白線等）等
2. 車両要件	運行前車両点検等
3. 運転者要件	免許、講習、安全教育、自動運転の習熟、健康状態等
4. 遠隔監視要件	車載カメラの運用状況等
5. ローカル5G要件	端末電波受信強度等

項目③運用上問題ないことを関係省庁との調整やガイドライン、法令等にて確認が取れていること

- ・関係省庁へのヒアリング(最新の検討状況、法令等の確認)及び航空局「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」での報告

### (3) アウトプット

本実証は、実験車としては運転者が常に安全運転義務を負う運用（空港制限区域内における自動走行レベル3相当）であったため、通常の運転者が課される運転ルールと自動走行レベル4相当の安全性チェックリストに基づいて、ローカル5G・キャリア通信を活用の遠隔型自動運転（レベル4相当）に向けた実証実験を実施しました。

#### 項目①ユーザ企業及び運用委託企業において、日々の運用において、実用に耐えうること

(a) 操作性 評価方法：

想定しているアウトプットは以下の通りです。

- ・操作UIの画面  
実運用を想定した操作UI一式を添付します。

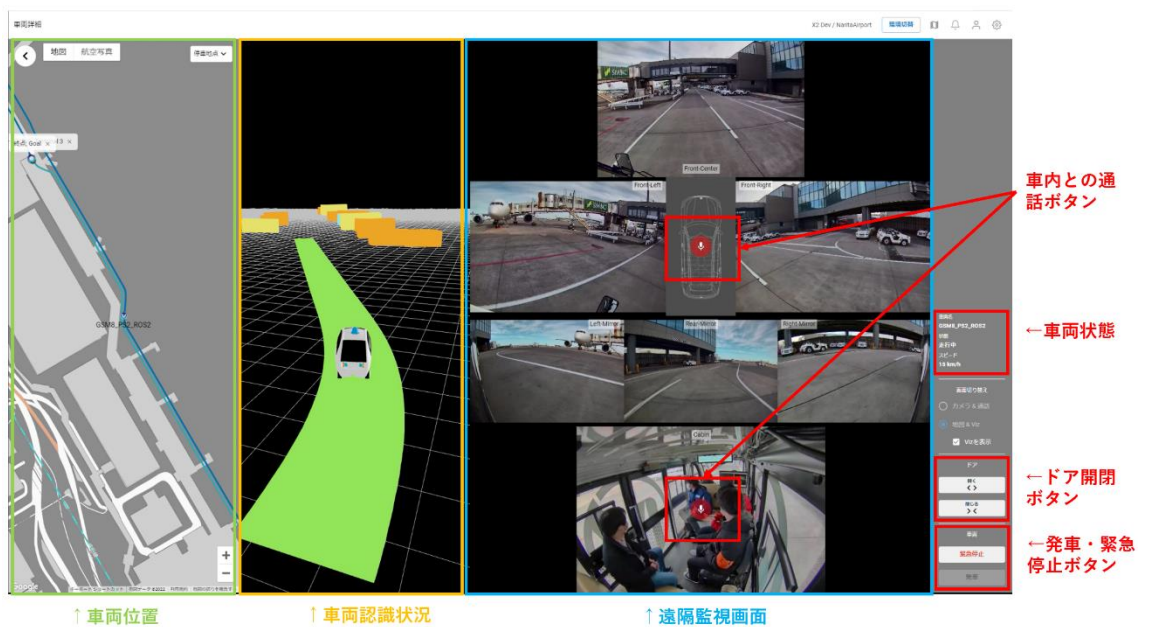


図 4-224 運行管理ツール (FMS) の UI

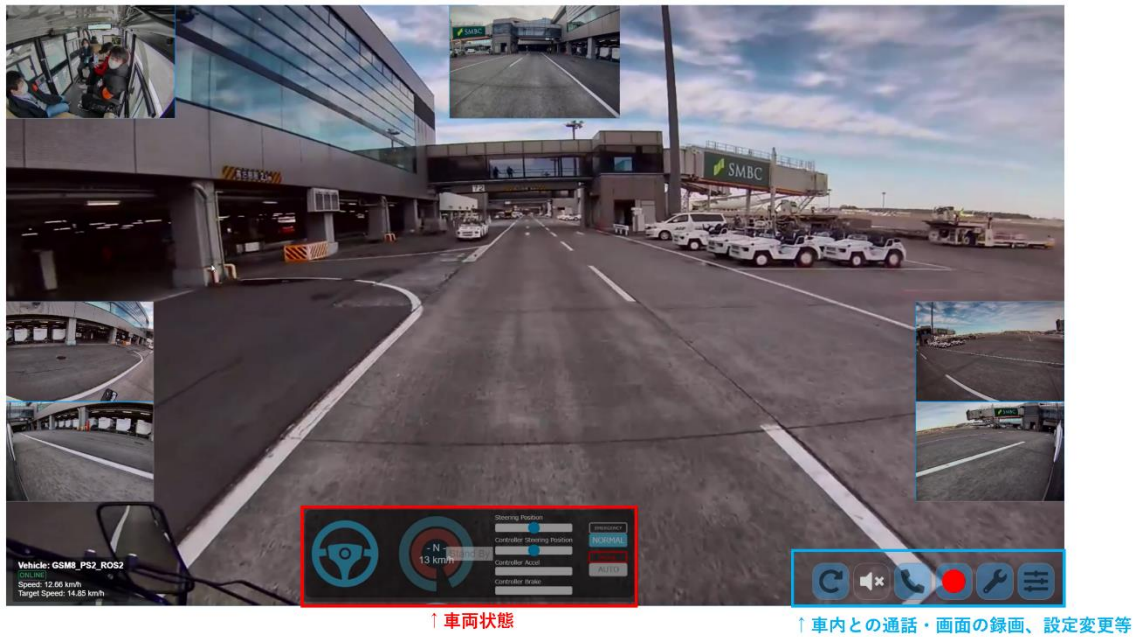


図 4-225 遠隔監視ツール (Autoware Drive) の UI

・運用委託想定会社へのヒアリング調査結果

#### 4. 4. 1. 1 章(3)④関係者理解 (再掲)

自動運転の推進について、有意義であり全般的に前向きなコメントを受領しました。

有人ならでの臨機応変な対応

コック操作、駆け込み乗車、汚損、空調・急な天候の変化

顧客サービス

乗車誘導、問合せ対応

保守・バックアップ

部品確保(故障時)、責任分解、緊急時の電力確保、  
緊急時の駆付け対応者の確保(遠隔監視者以外)

保安員・遠隔監視者要件

バックアップ車両の運転資格(大型2種)

自動運転に適したインフラ整備

通信インフラ 等

(b) 保守体制の構築 評価

以下の対応を行いました。

表 4-104 保守体制の構築・評価方法（実証期間中）

	項目案	本実証期間内の対応
1	保守対応時間	遠隔型自動運転実証期間中は開発担当者が同乗し、かつ遠隔監視室にて監視を行いました。実証時間9時～17時の範囲内で実施しました
2	保守駆け付け時間	常に運転者と遠隔型自動運転システム開発者が同乗し制限区域内で実験したため、駆け付けは不要でした
3	保守点検	規則に則り運行前点検等において、常に動作確認を運転者および開発担当者が実施しました
4	運用監視(稼働監視、障害連絡、監視機能の定期更新等)	開発担当者が同乗し、システム監視を行いました
5	ソフトウェア等バージョンアップ	特に実施しませんでした
6	障害時調査、復旧対応	重大障害等は発生しませんでした
7	ログ取得	開発等で利用するログ収集は行い、緊急停止等の事象解析を実施しました
8	技術支援	技術支援等を要する障害等は発生しました
9	緊急時対応	緊急事態は発生しませんでした
10	セキュリティポリシーの確立 等	2章記載のサイバーセキュリティ対策実装のうえ、運用を行いました

(c) 稼働時間 評価方法：

本実証を踏まえた稼働可能時間と実運用における乖離を測定しました。2022/2/14～28 実証期間中において、日中帯（10時～17時）に実施しました。詳細 4.4.2.1 章(1) ⑧に後述します。乗降時の遠隔からのドアの開閉・発進・緊急停止、ダイヤ走行等を実施し、概ね問題ないことを確認しました。

- T2 (10:05発) →T3 (10:12着)
- T3 (10:20発) →T2 (10:27着)
- T2 (10:35発) →T3 (10:40着)
- T3 (10:45発) →T2 (10:52着)
- T2 (11:05発) →T3 (11:10着)
- T3 (11:15発) →T2 (11:22着)

図 4-52 走行ダイヤ (2022/2/25 AM)

(d) 情報セキュリティ 評価方法：

成田空港の情報セキュリティ規定に準じた方法で検証します。

### 項目②空港内運用ルール及び要件が策定されていること

本実証実験に先立ち、国土交通省航空局により、「レベル4相当に向けた実証実験」を実施する上での車両の走行性能の確認がレベル4相当版の「安全性に関するチェックリスト」に基づき実施しました（詳細4.4.1.1章(2)参照）。また、空港制限区域内におけるレベル3相当自動運転実験車での運用であることから、運転者が守るべき国土交通省の定める空港運用業務指針および、空港内車両運転規則は遵守し、実験運用を実施しました。

運転者が乗車した空港制限区域内におけるレベル3実験車による遠隔型自動運転試験（レベル4相当）に向けた走行実験であったため、当初実施計画書に記載していた追加ルール等は必要としませんでした。

### 項目③運用上問題ないことを関係省庁との調整やガイドライン、法令等にて確認が取れていること

項目②参照のこと。

#### 4.4.2 ローカル5 Gを用いたソリューションの実装性に関する検証

空港制限区域内における自動走行のルールについては、国土交通省航空局がその策定をするべく「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」を開催しているところですが、本検討委員会においては、中長期的なインフラの課題として、「通信ネットワークの増強」が挙げられており、その中で中長期的な調査対象技術として「5 G」の活用が示されています(下記 URL 参照)。すなわち、遠隔監視のみによる自動走行においては、運転手がないことから、通信の安定性等が重要になってくることから、各空港に導入する共通インフラとして、その望ましい要件等の在り方について調査することとされています。

そこで、本実証実験で得られるローカル5 G (キャリア網による冗長性確保を含む) による遠隔監視の有効性や技術・運用上の課題について、2022年3月10日開催の検討委員会)において報告し、国土交通省航空局が今後、制限区域内における通信インフラの要件・在り方を検討するに際して、ローカル5 G等の活用方策についての示唆を提供しました。今後も、引き続き、通信インフラのルール等の策定に寄与し、ひいては制限区域内におけるローカル5 Gを用いた遠隔監視型の自動走行の実装性を高めることができるようにしていきたいと考えています。

(参考 URL) 「第7回 空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」

<https://www.mlit.go.jp/koku/network/content/001380952.pdf>

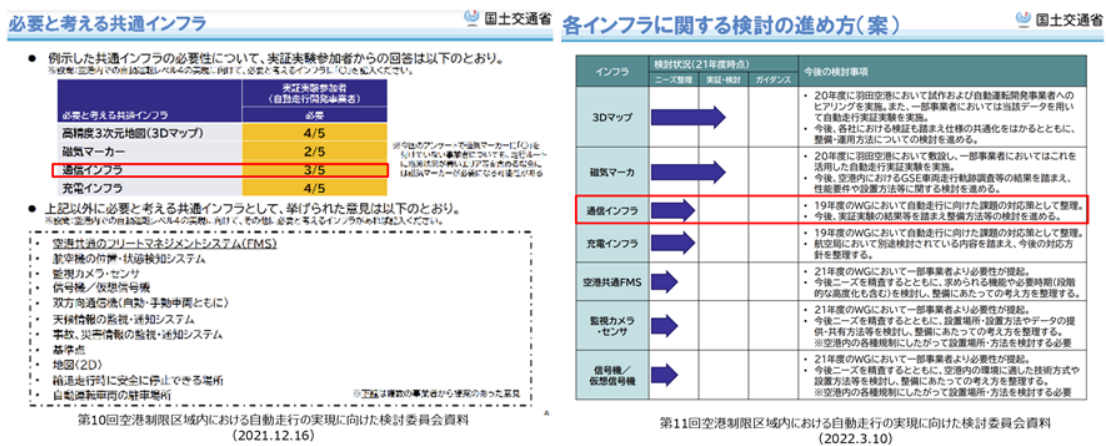


図 4-226 「第10回・11回「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」資料

#### 4.4.2.1 ローカル5G活用モデルの構築・検証

##### (1) 主な整理項目

##### ① 想定される具体的な主体及びターゲット（地域・市場・ユーザ等）

- ・ランプエリア利用事業者：
  - ・エアライン
  - ・グランドハンドリング会社等）、
  - ・旅客（バス乗客）
- ・関係省庁(航空局)
  - ・現連絡バス運用事業者
  - ・本コンソーシアム構成者
- ・ターゲット：
  - ・地域：成田国際空港
  - ・ユーザ：航空利用者

##### ② 対象となるシステム(普及に資するソリューションやビジネスモデル等パッケージ)

###### ○システム：

自動運転システムにおける遠隔監視システム、ローカル5Gシステム、キャリア通信システム

###### ○ビジネスモデル：

自動運転車両の提供・メンテナンス等（株式会社ティアフォー）と運行（バス運行事業者）の切り分け（役割分担）を行い、得意分野を活かしたオペレーションとすること、またターミナル間連絡バスやそれ以外の特殊車両等の多種の車両をまとめて自動運転化し、一人の遠隔監視者が複数台を監視するモデルを確立することでローカル5G導入のコストに見合う省人化が可能と考えます。

##### ③ 詳細の前提条件（実証地域やユーザ等の固有な要因や実証環境との関係等）

成田国際空港は COVID19 流行以前年間 4000 万人が利用していた大規模空港であり、航空機や様々な専用車両が行き交い、航空機の安全性、定時性が非常に重要です。しかも今後は機能強化を通じてさらに多くの人々が往来します。これらを支える遠隔監視型の自動運転連絡バスを確立するためには遠隔監視に係る通信の安定性、品質、通信量の確保が必要となり、専用帯域を確保できるローカル5Gが必要となります。

以下、本項について空港特有の干渉調整に関する項目について、下記の通り記します。

a) 個々空港の周辺無線システムを、検討を行う上で必要な情報の項目

本実証と同様に、所管の総務省総合通信局への免許申請が必要となり、場合により周辺無線システムを利用する免許人と干渉調整を要するため、留意が必要です。

b) 個々空港で周辺無線システムの情報を管理している主体

免許申請時に干渉調整を要する場合に、総務省総合通信局から情報提供により当該免許人情報を受領することとなります。

c) 個々空港と国土交通省様との関係（管轄部局がどこか、どの様に分かれているか等）

当コンソーシアムとして個々空港・国土交通省様の関係については、コメントする立場がありません。各空港機能施設事業者および国土交通省様に問合せを必要に応じ行うことが相当と考えます。

#### ④ その他の前提条件

・ ガイドライン

航空局の「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」やその中で策定されるガイドラインを踏まえ、必要となる模擬フィールドでの走行実験等を実施しました。また、通信テストを行うための事前走行をしました。

・ 今後の成田国際空港の施設計画

成田国際空港の機能強化として、「滑走路の夜間飛行制限の緩和」「B 滑走路の延伸」「C 滑走路の新設」を目指しています。これらにより発着便数や旅客数の増大を見据えておりこれらにより連絡バスや GSE 車両のニーズが高まり、将来的なドライバ不足が想定されます。よって、これらを解決する方策として、遠隔監視型自動運転を検討しています。

出典：<https://www.narita-kinoukyouka.jp/status.html>



2018年3月の地元合意に基づき、成田空港の機能強化を実施。2028年度末の供用を目指して整備を進める。

**A滑走路の夜間飛行制限の緩和**

- 2019年冬ダイヤ(10月27日)より、A滑走路の運用時間を、6-23時から6-24時に延長 \*新B・C滑走路の供用開始まで

**B滑走路の延伸(2500m→3500m)**

**C滑走路の新設(3500m)**

- 成田会社法に基づき国土交通大臣が定める基本計画を改定(11月5日)。
- 成田空港会社が、航空法に基づく空港等の変更許可を申請(11月7日)。許可後、整備を開始。
- 供用後は、「スライド運用」により、5時~0時半の運用時間を確保、年間発着容量50万回を実現。

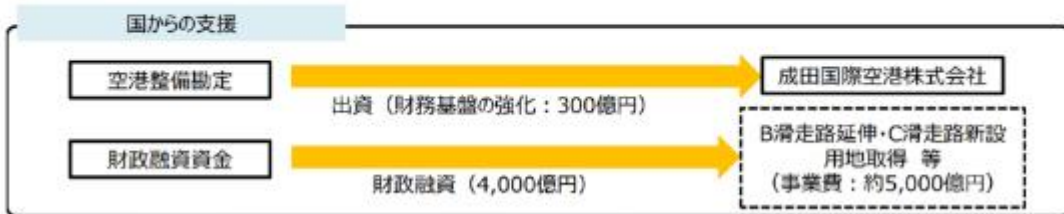


図 4-227 成田国際空港の機能強化 (国土交通省報道発表資料)

- ⑤ 標準モデル (機能要件・非機能要件、ネットワークシステム構成、業務・処理フロー、運用ノウハウ、実装方法・手順)

成田国際空港におけるモデルの策定を行い、標準化したうえで、他への展開可能な標準化を図ります。

- ⑥ 体制・事業スキームのモデル (免許人・ネットワーク・システム構築・運用等の役割分担の在り方含む)

検証結果を踏まえて、今年度構築したコンソーシアムとローカル5G環境等の維持を前提に進める予定です。将来的には成田国際空港を免許人とすることを想定します。現時点での空港制限区域内自動走行レベル4相当ガイドライン制定及び空港運用ルール案制定を想定した役割分担案の想定を下表に示します。

表 4-105 役割分担案 (ガイドライン・運用ルール制定時の現時点想定)

役割	名称
免許人	成田国際空港株式会社
ローカル5G設備	本実証レンタル会社継続を想定し、一部機器については成田国際空港株式会社にて保有
ローカル5G運用保守	東日本電信電話株式会社
遠隔監視自動運転	株式会社ティアフォー
キャリア通信	KDDI 株式会社

## ⑦ 導入効果（ターゲットの特長を踏まえ課題解決等に資する導入効果及び有用性等）

本実証の結果を踏まえて、導入効果を算出します。省人化・省力化への貢献度、安全性、経済性の観点で行いました。結果は、4.4.1.1章(3)④の経済性検討に記載しました。

## ⑧ 課題と対応策（技術面・運用面、対応策、運用に必要なノウハウ等）

成田国際空港は大規模空港であるため、一台や二台の連絡バス導入では効果が弱く、大量導入してこそ専用のローカル5Gを建てる投資対効果も生まれるため将来的には一人による複数台監視を実現する必要があると考えます。

これを実現するためには、a)安定した遠隔監視用の通信、b)有事のシームレスなオペレーション、c)コロナ後の航空需要をさばけるオペレーション、d)アンケート調査結果を踏まえて抽出した課題への対応が必要となります。

### a) 安定した遠隔監視用の通信について

本実証を通じて、ローカル5Gの安定性やキャリア網との冗長性の検証を通じて検証できたものと考えていますが、実際に複数台を導入した際にも問題なく遠隔監視が可能となるかは今後の課題となります。

### b) 有事のシームレスなオペレーションについて

本実証では、遠隔監視室が制限区域の実証ルートと距離があったため、有事の際の駆け付けは困難でしたが、今後は、例えば遠隔監視室と制限区域内の警備との連携等も含めて、即座に対応できる運用を検討していく必要があります。

### c) コロナ後の航空需要をさばけるオペレーションについて

コロナ後には航空需要が戻り、成田国際空港では非常に多くの航空便が行き交うこととなり、旅客も増えます。その際、ターミナル間の連絡バスの定時性の確保は重要となるため、遠隔監視型の自動運転バスにおいても、スムーズなオペレーションを確保することが課題となります。本実証においても、乗降時の遠隔からのドアの開閉・発進・緊急停止、ダイヤ走行等を実施し、概ね問題ないことを確認しました。将来的には、実際の旅客や旅客数への対応を検討し、利用者利便を向上させながら導入を目指したいと考えています。

### d) アンケート調査結果を踏まえて抽出した課題について

4.4.1.1章(3)③アンケート調査より主に以下の4点について課題抽出されており、実証シナリオ整理や追加開発のうえ課題精査と解決をしていく必要があります。

- ・急停車等に起因する乗り心地の改善
- ・有人走行時と同等のサービスレベルを無人走行時でも確保（問い合わせ・UD 対応等）
- ・乗客やグランドハンドリング（GSE 車両ドライバー等）に対する自動運転の理解促進
- ・緊急時・保守時の駆け付け体制や代替輸送サービスの確保（悪天候時含む）、遠隔監視者の要件の整理、対応者へのスキル委譲



図 4-51 遠隔操作によるドア開閉

- T2 (10:05発) →T3 (10:12着)
- T3 (10:20発) →T2 (10:27着)
- T2 (10:35発) →T3 (10:40着)
- T3 (10:45発) →T2 (10:52着)
- T2 (11:05発) →T3 (11:10着)
- T3 (11:15発) →T2 (11:22着)

図 4-52 走行ダイヤ (2022/2/25 AM)

その他、現状の航空局のルールにおいては、車内に運転手がいなければならないため、遠隔監視のみによる運行はできず、航空局のルール策定議論への参加・貢献が必要となってきます。「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」に参加している成田国際空港株式会社及び株式会社ティアフォーが、本実証の結果を当該委員会で報告するなど、ルール策定の議論に貢献しています。

具体的には、遠隔監視のみによる運行を見据え、ローカル5Gを活用した遠隔監視に係る技術・運用上の課題、キャリア網との冗長性確保の有効性等について報告しました。これにより、中長期的なインフラの課題とされている「通信ネットワークの増強」についての議論に資するための情報共有を行いました。

## 空港制限区域内における自動走行の実現に向けた実証実験

# 実証実験報告

2022年3月10日

成田国際空港株式会社  
東日本電信電話株式会社  
KDDI株式会社  
株式会社ティアフォー

## 実施計画概要

実施目的	ターミナル間連絡バス運転手の人手不足、ヒューマンエラーなどの課題への将来的な解決策の一つとして、5 G通信を活用した遠隔監視による無人自動運転に向けた実証実験を実施
スケジュール	2021年12月3日: 模擬フィールド審査 2022年1月17日: 制限区域内での準備走行開始 2022年2月14日: 実証実験開始 2022年2月28日: 実証実験終了
使用車両	タジマモーターコーポレーション社製バス “GSM8”を改造 ※ベース車両: タジマモーターコーポレーション、自動運転システム: ティアフォー
実施場所	成田国際空港 制限区域内
走行ルート	第2ターミナル～第3ターミナル 車両通行帯
実験内容	・レベル4相当に向けた実証実験 ・ローカル5G・キャリア通信の冗長化構成での遠隔監視等 (オペレーションテストと通信関連テストを実施)
実施者	・成田国際空港株式会社 (実証フィールドの提供、課題抽出等) ・東日本電信電話株式会社 (ローカル5Gの課題検証等) ・KDDI株式会社 (キャリア通信の提供等) ・株式会社ティアフォー (自動運転車両・遠隔監視システムの提供等)

※総務省の令和3年度予算事業「課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証(代表機関 東日本電信電話(株))」採択案件

## 走行日時・ルート

実施日時	2022年1月17日～2月10日(走行準備期間) 2022年2月14日～2月28日(実証実験) いずれも9:30～17:00の間で実施。メンテナンス等により走行していない日もある。
実施場所	成田国際空港 制限区域内
走行ルート	第2ターミナル～第3ターミナル(片道約700m)

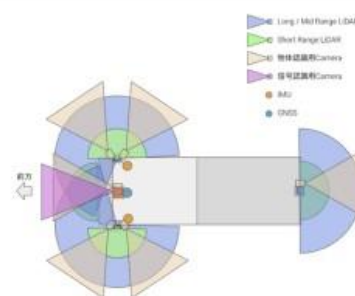


## 車両概要

使用車両	タジマモーターコーポレーション社製・GSM8(改造)
乗車定員	原則着席10名まで(オペレーター・ドライバーを除くと最大8名)
全長/全幅/全高(m)	4.84/1.51/2.125
車両重量(kg)	1,350
ハンドル有無	有

### 走行制御技術の概要

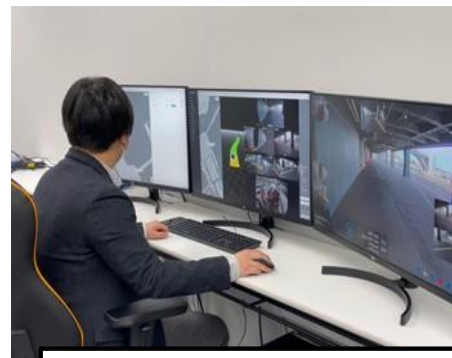
- ・車両自律型
- ・車両制御には、ティアフォーが開発を主導するオープンソースの自動運転ソフトウェア「Autoware」を使用
- ・高精度三次元地図とLiDARを用いたスキャンマッチングにより自己位置を推定
- ・LiDAR・カメラにより障害物等の認知を行うとともに、高精度三次元地図上に引かれたレーンや停止線等に従って走行



### センサ等の概要

- ・カメラ 物体検知用6基、信号認識カメラ1基、遠隔監視カメラ7基
- ・LiDAR 8基
- ・GNSS(全球測位衛星システム) 1基
- ・IMU(慣性計測装置) 1基

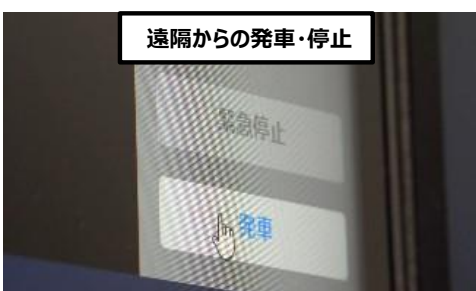
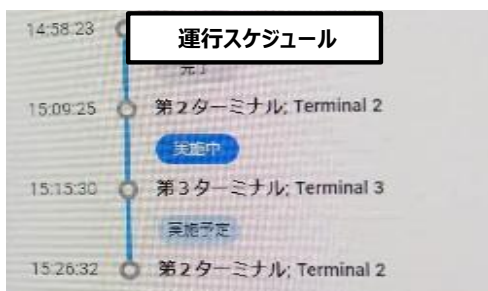
## 実証実験の様子



4

## 遠隔監視システム( Autaware Drive / FMS )

- Autaware Driveはティアフォーが開発する遠隔監視システムであり、遠隔から操作も機能上は可能であるFleet Management System (FMS) は運行管理を行うためのツールであり、車両位置・状態（エラーやバッテリー残量等）の把握、運行スケジュールの登録、発車・停止指示等を行うことができる。
- Autaware DriveとFMSを活用して、車両を遠隔地から監視・管理することが可能となり、将来のレベル4相当での実装を目指す。



5

## ローカル5G／キャリア網の取り組み

6

### ローカル5Gとキャリア通信による通信の冗長化構成

- 遠隔映像監視品質向上と複数車両の同時運用に向け、5G技術を適用し遠隔監視型自動運転を評価
- 安定運用の為、「空港業務専用のローカル5G」と「キャリア通信(5G・LTE)」で冗長化（本報告）

本報告

#### 5G技術の適用

・高速大容量な通信を実現

- ⇒映像品質(画素数・秒間送信枚数)の向上 ※車両1台あたり
- ⇒自動運転台数の複数化



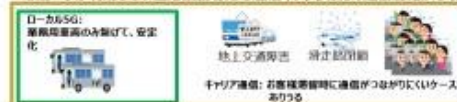
#### 通信冗長化（ローカル5G自営通信・キャリア通信）

・機器故障等で片方が通信できなくなっても継続走行可



・災害時の安定性向上

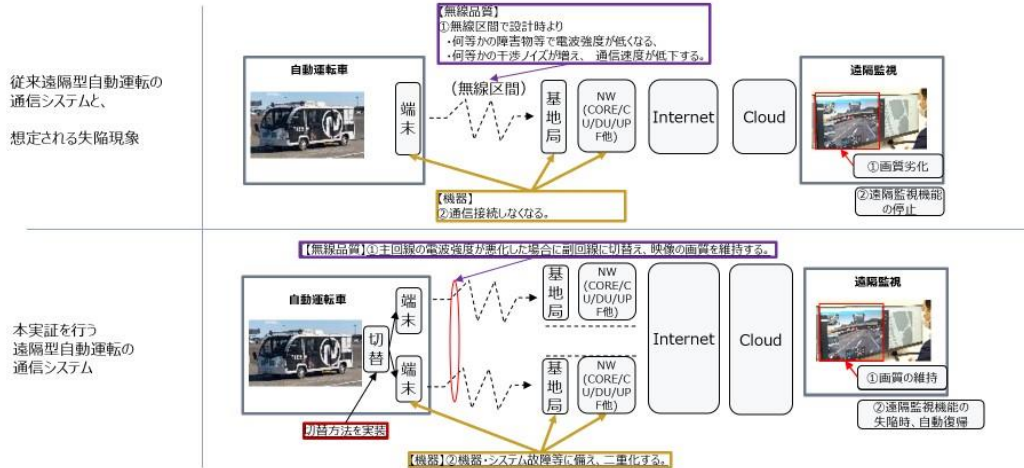
一般ユーザが利用しない空港業務専用の通信インフラのため通信混雑がなく安定化



7

# 冗長系を要する理由とその方策

■ 通信失陥した場合、遠隔監視の「①画質低下・②遠隔監視機能停止」で、安全確保のため緊急停止する場合がある。  
 →「①無線伝搬路・②機器類」の冗長化を行い、かつ、遠隔監視を維持する為の**切替手法を実装**し、通信品質の劣化時や通信途絶時の緊急停止の予防を賄う。



8

# 通信関連の試験の結果概要(通信品質劣化時)

■ 以下KPIを達成し、映像監視切替手法の冗長系適用可能性あることがわかった。  
 1)回線切替時間 2 sec以内, 2)映像遅延 400 ms以内、  
 3)画質(解像度) HD 画質 4)フレームレート9 FPS以上



計測地点	切替時間 [sec]	映像遅延 [sec]	画質	フレームレート [frame/sec]
			解像度	
KPI充足	OK	OK*	OK	OK
<b>2ビルバス停出発(北行き)</b>				
地点9 [73スポット]	0.378	0.386	HD	24
地点6 [75スポット]	0.468	0.370	HD	25
<b>3ビルバス停到着/出発(南行き)</b>				
地点6 [75スポット]	0.633	0.253	HD	21
地点10 [72スポット]	0.368	0.347	HD	22

9



## 通信関連の試験の結果概要(通信途絶時)

5回試行し、駆け付けする時間よりも十分早い速度で復帰することを確認

- 通信切断時に、自動運転車が直ちに安全に停車すること
- 映像が大きく途切れずに配信され続けること
- 制御系通信が復帰するまでの時間が駆け付け時間より十分短いこと

制御系通信復帰時間

試行回数	通信途絶時の安全停車	映像配信の再開	復帰時間 [sec]
1回目	OK	OK	84.6
2回目	OK	OK	75.1
3回目	OK	OK	75.0
4回目	OK	OK	75.7
5回目	OK	OK	75.0

※ターミナル3バス停付近で、ローカル5Gの試験  
停波を行い故障を模擬して実施。

10

## 実証シナリオ(動画)



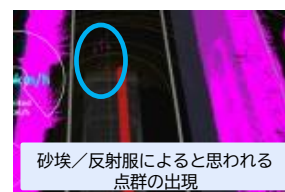
11

## 実験結果

12

### 実証実験結果【概観】

項目	内容
コロナによる実証への影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>予定されていた試乗会などが実施できなかったことにより、実証コンソ関係者以外によるフィードバックは、ターミナル間バスを運行している成田空港交通様を除き、受けることができなかった。</li> </ul>
自動運転について	<ul style="list-style-type: none"> <li>オペレーションテストとしては約3kmの自動走行を実施(このほか、チューニング等のための準備走行や通信テストでも自動走行実施)。</li> <li>自己位置推定が外れる事象は見られず、自己位置推定は安定。</li> <li>走路上には他車両が停止していたり、GSE機材の扱い等でスタッフが存在することがあり、長時間走路にいる場合には介入をせざるを得ない。他車両の回避に係る自動運転技術は開発しているが、具体的な運用については十分に検討していくことが必要。</li> <li>突如として点群が現れ、障害物と認識される場合があり、砂埃(いわゆる「やち埃」)や制限区域内のスタッフの反射服やボールの光の反射などによる可能性がある。</li> <li>現在は平時に比べて航空便数も旅客も少ないが、航空需要が戻ったときには、乗降も含め、定時性を十分に確保できるオペレーションが必要。</li> </ul>
遠隔監視等について	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔監視、遠隔からのドア開閉・発進・緊急停止は問題なかった。</li> <li>ローカル5Gの大容量・低遅延の通信により、遅延の少ない鮮明な映像での遠隔監視が可能となった。</li> <li>また、キャリア通信との冗長化により、ローカル5Gの通信が途絶しても、速やかにキャリア通信に切り替え、遠隔監視復帰・走行再開することが可能なことを確認。</li> </ul>



13

## 実証結果【項目別】

検証項目	概要
車線内での走行	・ 問題なく対応できている
速度制限の遵守	・ 問題なく対応できている(15km/hを遵守)
停止位置での停止	・ 問題なく対応できている
交差点での優先・非優先対応	・ 問題なく対応できている
コンテナ・路駐車脇などの死角にいる車両への対応	・ 問題なく対応できている
走路脇・走路内の人・車両への対応	・ 原則停止(MRM)することで対応しているが、長時間停止している車両については、停止後、手動で回避(今後、遠隔からの承認による回避を実装予定)
右左折時の対向車線へのはみ出し	・ 小型のバスであり、特に大きくはみ出すといったことはない
遠隔監視等／通信	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 遠隔からのドア開閉、発進、緊急停止は問題なく実施</li> <li>・ ローカル5Gの活用により、鮮明で低遅延な遠隔監視映像を実現</li> <li>・ 通信品質低下時キャリア通信との切り替えにより、遠隔監視を冗長化</li> </ul>
空港関係者へのアンケート	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コロナの状況を踏まえて、大規模な試乗会等は実施を自粛</li> <li>・ 空港内の関係者のみを対象にアンケートを実施</li> </ul>
オペレーションテスト (2/14、2/16、2/24、2/25実施) 2/14: 遠隔からのドア開閉・発進 2/16: 上記に加え、遠隔からの緊急停止 2/24、2/25: 上記に加え、ダイヤ走行やMRMでの自動停止等を実施(障害物がある場合は一旦自動停止→手動介入)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 【オペレーションテストのデータ】</li> <li>・ 自動走行距離 約83km(参考)実証期間全体1/17~2/28: 約420km</li> <li>・ 予定していない手動介入: 7回 ※一部運用変更(Uターン方法)の指示があり、手動対応となった部分は除いている。介入は、主に他車両の回避等による。自己位置推定外れによる介入はなし。</li> <li>・ 急停止等: 6回 ※排気ガス、砂埃、ボールの光の反射などが原因と考えられる。</li> <li>・ 遠隔監視室からのドア開閉、発車、緊急停止は正常に作動</li> <li>・ ダイヤ走行: 現状運行している2発のバスと同じ30分間隔でT2出発</li> </ul>

## 関係者アンケート 概要

空港関係者における自動運転に関する理解や懸念事項の把握のため、**空港関係者(成田国際空港株式会社職員及び成田空港交通様)に対するアンケート調査を実施**

### ■ アンケート概要

アンケート対象者	アンケート概要	アンケート期間
成田国際空港株式会社職員 (N=29)	制限区域内での自動運転試験に同乗した職員に対して、 <b>旅客目線及び空港運営での評価や課題の確認</b> ①旅客目線での自動運転車両への乗り心地、安心感、不安な点等の確認 ②空港運営の観点での懸念事項や課題の洗い出し	2/10~2/28
成田空港交通様 (制限区域内ターミナル間連絡バス運営委託会社)	オンライン説明会を受けて、今後の実装に向けて以下の項目の評価や課題の抽出 ③自動運転の印象やお客さまや <b>運行に対する懸念点</b> ④ <b>遠隔監視者の立場</b> で業務を遂行する場合の課題 ⑤ <b>保安員(ドライバー)の立場</b> で業務を遂行する場合の課題	

### ■ アンケート内容 (成田国際空港株式会社職員向け)

アンケート項目	設問
①旅客目線での自動運転車両への印象	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 発信時、走行時、停車時の乗り心地の評価とその理由</li> <li>・ 乗車前後での安心感の変化とその理由</li> <li>・ 5Gを活用した遠隔監視による安心感の変化</li> <li>・ 旅客に乗車頂くことへの懸念とその理由</li> <li>・ 自動運転車両における不安な点の確認</li> </ul>
②空港運営の観点での懸念事項や課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 自動運転バスの運行に関する気になる点の確認・空港管理者の立場で空港運営に影響を与えうる事象等の確認</li> </ul>

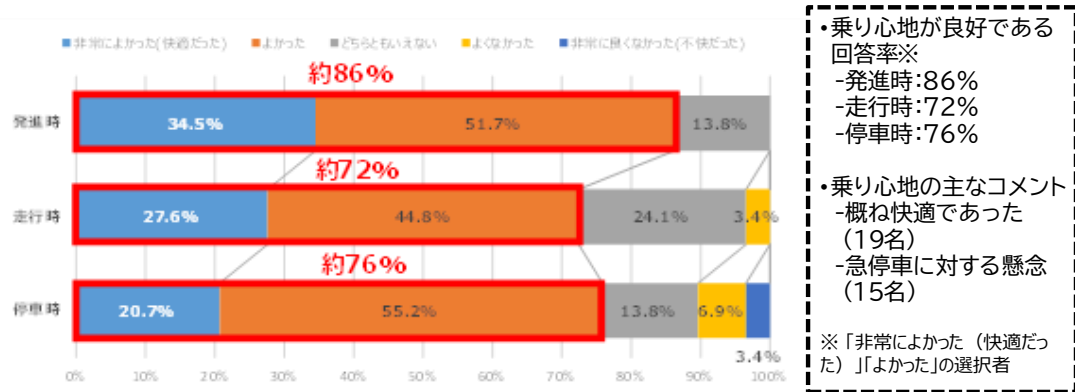
### ■ アンケート内容 (連絡バス運営委託会社向け)

アンケート項目	設問
③自動運転の印象やお客さまや運行に対する懸念点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 自動運転の印象に変化</li> <li>・ 旅客の乗車に対する問題や懸念点</li> <li>・ 自動運転車両について、不安な点の確認</li> </ul>
④遠隔監視者の立場での課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 現行の運用と比較した時に気になる点の確認</li> <li>・ 解消に向けた具体策</li> </ul>
⑤保安員(ドライバー)の立場での課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 現行の運用と比較した時に気になる点の確認</li> <li>・ 解消に向けた具体策</li> </ul>

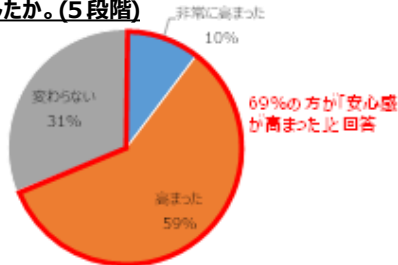
15

## 成田空港会社職員アンケートまとめ (1/2)

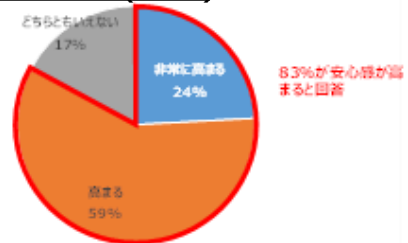
Q:自動運転車両の乗り心地はいかがでしたか(5段階)また、その理由を教えてください。



Q:乗車前後で自動運転車両に対する安心感が変わりましたか。(5段階)

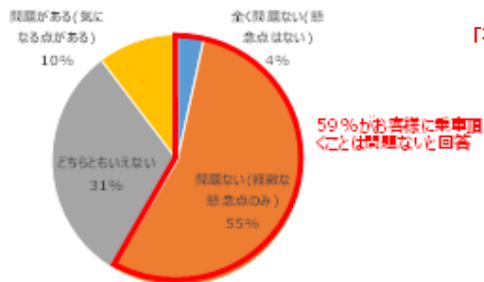


Q:5Gを用いた遠隔監視の有無で自動運転車両における安心感が変わりますか。(5段階)

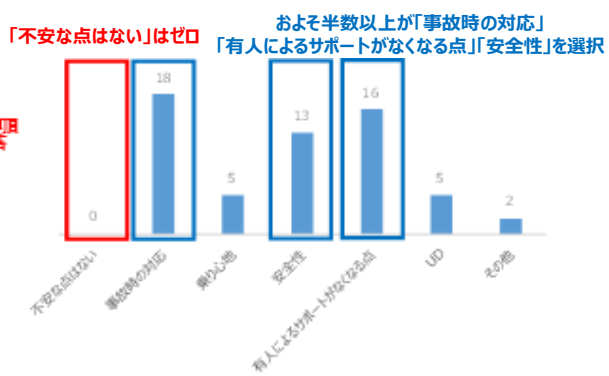


## 成田空港会社職員アンケートまとめ (2/2)

Q:お客様に自動運転車両に乗車いただくことに、問題ないと思いますか。(5段階)



Q:自動運転車両について、不安な点があれば教えてください(複数回答可)



Q:自動運転バスの運行において気になる点がございましたらご記入をお願いします。(記述式)

主な回答(2件以上)

### ■安全性

- ・イレギュラー対応全般 9件
- ・通信インフラ 8件

### ■運用

- ・ODD外での運用 4件
- ・運用保守全般 2件
- ・乗客へのケア 2件

### ■自動運転車両

- ・急停車、障害物検知の精度 2件

Q:自動運転バスの運行により空港運用に広く影響をあたえる事象等を記入をお願いします。(記述式)

主な回答(2件以上)

### ■他ハンドリング会社、航空機への影響

- ・他のGSE等への影響(渋滞、急停車) 9件
- ・定時運航への影響(航空機妨害、乗り継ぎ遅れ) 2件

### ■乗客への影響

- ・乗客対応(アナウンス、停車等トラブルによるストレス) 2件

### ■その他

- ・サイバーセキュリティ 2件

## 成田空港交通様アンケートまとめ

- ・ 制限区域内ターミナル間連絡バスの運営委託会社に対して、2022年1月26日に自動運転に関する**オンライン視察会を開催**し、その結果を踏まえてアンケート調査を実施
- ・ 自動運転の推進について、有意義であり全般的に**前向きなコメントを受領**した。一方で、懸念事項についてコメントを頂いており、今後の実装に向けた検討を進めることとしたい。

アンケートにおいて、主に以下の観点で指摘を頂戴した。

- **有人ならではの臨機応変な対応**  
コック操作、駆け込み乗車、汚損、空調・急な天候の変化
- **顧客サービス**  
乗車誘導、問合せ対応
- **保守・バックアップ**  
部品確保(故障時)、責任分解、緊急時の電力確保、  
緊急時の駆け付け対応者の確保(遠隔監視者以外)
- **保安員・遠隔監視者要件**  
バックアップ車両の運転資格(大型2種)
- **自動運転に適したインフラ整備**  
通信インフラ 等

18

## 実証実験を終えての成果と課題(まとめ)

### (成果)

- ✓ 成田国際空港の制限区域内において、大きな問題なく、ルールに沿った走行が可能であることを確認
- ✓ レベル4相当の実現を見据えた主な機能・オペレーションが大きな問題ないことについて確認
  - ✓ 遠隔システムを活用しての乗降シナリオ(遠隔からのドア開閉や発進指示)
  - ✓ 遠隔からの緊急停止
  - ✓ ダイヤ走行
- ✓ 空港内の自動運転専用のローカル 5G及びキャリア通信との冗長化構成の有用性を確認

### (今後の課題)

- ・ アフターコロナで航空需要が戻った場合における制限区域内の環境変化に対応しつつ、定時性を確保する方法は要検討
  - ・ レベル4相当実装時において、(車内保安要員を置かない場合)、問題が生じたことを車両側で検知→遠隔監視者に通知→遠隔監視者が警備員などに連絡→駆けつけ、といったオペレーションの確立
  - ・ レベル4相当実装時において、(車内保安要員を置かない場合)、車内安全の確保手法
  - ・ いわゆる1:N等の遠隔監視オペレーションの確立
  - ・ 砂埃や排気ガスの検知への対応
  - ・ 道路上に長時間停止する車両への対応(車両による回避、空港内における路駐のルール検討等)
  - ・ レベル4相当実装のために必要な通信要件や共通インフラとしての通信インフラの考え方
- <アンケートを踏まえた課題>
- ・ 急停車等に起因する乗り心地の改善
  - ・ 有人走行時と同等のサービスレベルを無人走行時でも確保(問い合わせ・UD対応等)
  - ・ 乗客やグランドハンドリング(GSE車両ドライバー等)に対する自動運転の理解促進
  - ・ 緊急時・保守時の駆け付け体制や代替輸送サービスの確保(悪天候時含む)、遠隔監視者の要件の整理、対応者へのスキル委譲 等

## 今後の展開

20

### 空港制限区域内における自動走行の実現に向けた今後のステップ(イメージ)

#### (2021年度:実証開始)

成田国際空港におけるレベル4相当の実現に向けた実証実験

- ・T2～T3間
- ・1台走行
- ・運転席ドライバーあり



#### (2022年度～2024年度頃:実証実験のステップアップ)

成田国際空港におけるレベル4相当の実現に向けた実証実験の拡充

- ・走行ルートの拡充
- ・ローカル5G等を活用した複数台の遠隔監視
- ・遠隔監視のみ(レベル4相当)での実証実験
- 他空港への展開検討・着手



等

#### (2025年度頃:実装)

成田国際空港等の空港制限区域内におけるレベル4相当での実装

※「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」では「実現性の高い空港、エリア、ルート等については、可能な限り前倒して4相当を導入」とあり、この動向次第では、前倒しでの導入も検討

21

図 4-56 第 11 回「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」発表資料

また、実装していく上では、株式会社ティアフォーから運行事業者へのスキルトランスファーや事故時・トラブル時の遠隔監視者の対応の確立、空港内で働く方々の自動運転車に対する理解促進を行う必要があります。

## (2) モデル構築・検証

### ① ユーザニーズやコスト等を踏まえた経済性

旅客（バス乗客）、関係省庁（航空局）、現連絡バス運用事業者において自動運転車両の提供・メンテナンス等（株式会社ティアフォー）と運行（バス運行事業者）の役割分担明確化、ターミナル間連絡バスやそれ以外の特殊車両等の多種の車両をまとめて自動運転化する等をヒアリングすることより、一人の遠隔監視者が複数台を監視するモデルを確立することでローカル5G導入のコストに見合う省人化を遠隔監視の評価等によりニーズ及び課題を抽出しました。そのコストについては、自動走行レベル3相当自動運転に係るガイドラインは運転手の乗務を基本としています。このため、遠隔監視を基本とする自動走行レベル4相当を実現させたいうえで必要条件案を抽出します。そのうえで、将来的な事業継続に繋げていくための、今日のコスト増要因を分析とモデルの社会実装課題を整理しました。結果は、4.4.1.1章(3)④の経済性検討に記載しています。

### ② 運用・管理等に関わる仕組みや方法

本実証においては、4.4.1.3章(3)に記載の制約のもと実証を行いました。以下に再掲します。

本実証実験に先立ち、国土交通省航空局により、「レベル4相当に向けた実証実験」を実施する上での車両の走行性能の確認がレベル4相当版の「安全性に関するチェックリスト」に基づき実施しました（詳細4.4.1.1章(2)参照）。また、空港制限区域内におけるレベル3相当自動運転実験車での運用であることから、運転者が守るべき国土交通省の定める空港運用業務指針および、空港内車両運転規則は遵守し、実験運用を実施しました。

運転者が乗車した空港制限区域内におけるレベル3相当実験車による遠隔型自動運転試験（レベル4相当）に向けた走行実験であったため、当初実施計画書に記載していた追加ルール等は必要としませんでした。

このため、社会実装においては4.4.2.1章に本項に係る課題及び対応策をまとめて記載しましたので、再掲いたします。現状の航空局のルールにおいては、車内に運転手がいないければならないため、遠隔監視のみによる運行はできず、航空局のルール策定議論への参加・貢献が必要となってきます。「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」に参加している成田国際空港株式会社及び株式会社ティアフォーが、本実証の結果を当該委員会で報告するなど、ルール策定の議論に貢献しています。

具体的には、遠隔監視のみによる運行を見据え、ローカル5Gを活用した遠隔監視に係る技術・運用上の課題、キャリア網との冗長性確保の有効性等について報告しました。これにより、中長期的なインフラの課題とされている「通信ネットワークの増強」についての議論に資するための情報共有を行いました。

（報告資料は4.4.2.1章参照）

### ③ 機器の所有権や関係者間の契約及び役割分担

検証結果を踏まえて、今年度構築したコンソーシアムとローカル5G環境等の維持を前



提に進める予定です。将来的には成田国際空港を免許人とすることを想定します。現時点での空港制限区域内自動走行レベル4相当ガイドライン制定及び空港運用ルール案制定を想定した役割分担案の想定を下表に示します。

表 4-106 役割分担案（ガイドライン・運用ルール制定時の現時点想定）

役割	名称
免許人	成田国際空港株式会社
ローカル5G設備	本実証レンタル会社継続を想定し、一部機器については成田国際空港株式会社にて保有
ローカル5G運用保守	東日本電信電話株式会社
遠隔監視自動運転	株式会社ティアフォー
キャリア通信	KDDI 株式会社

#### ④ ビジネスモデル等、多面的な検討

自動運転化により人が完全に不要となるわけではなく、有事の際にそれを察知し、駆けつけたりするために状況を把握できる遠隔監視者が必要です。しかしながら、複数車両に対してそれよりも少ない人数での遠隔監視を行うことができれば、省人化につながります。これを実現するためには、多くの旅客が利用するキャリア通信とは異なる専用帯域の確保・低遅延・大容量通信が必要であり、ローカル5Gの導入により実現できる可能性があります。また、キャリア通信による冗長性の確保を行うことでさらに安定的な通信状況を実現が期待できます。

その他、現状の国土交通省航空局のガイドラインにおいては、車内に運転手がいなければならぬため、遠隔監視のみによる運行はできず、航空局のルール策定議論への参加・貢献が必要となります（自動走行レベル4相当）。「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」に参加している成田国際空港株式会社及び株式会社ティアフォーが、実証の結果を当該委員会で報告するなど、ルール策定の議論に引き続き貢献していくことを目指します。

実装していく上では、株式会社ティアフォーから運行事業者へのスキルトランスファーや事故時・トラブル時の遠隔監視者の対応の確立、空港内で働く方々の自動運転車に対する理解促進を行う必要があります。

本実証を通じて取得した課題をまとめ、その結果を踏まえ、対応策や各種ノウハウを考察し、(1)⑧に記載しています。

#### 4.4.2.2 普及展開方策の検討

本実証のローカル5G活用モデルを早期に実装、展開させるため、まずは成田国際空港における継続的な検討の継続（2022年度以降）を行うことを想定しています。自動走行レベル4相当（人が運転に介在しない=運転手なし）での実証実験や走行エリアの拡大を国土交通省航空局の検討状況と連動して進めていく考えです。その際、自動走行レベル4相当での走行時の通信等の各種インフラ要件や運航ルールの検討も進めてまいります。

今後、2025年の自動走行レベル4相当の導入に向けて、「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」において、運転手のいないレベル4相当の実証実験の実施が2022年度に想定されています。この場合においては、特に、事故対応・駆けつけ対応等のために、遠隔監視の必要性が一層高くなります。

実装を見据え、コスト面を考慮に入れると、複数台の車両をそれより少ない人数で遠隔監視できるようにすることが重要であり、それに耐えうる通信インフラは欠かせませんが、この点も含め、来年度以降の検討委員会においても必要に応じて実証実験等の報告を行い、制限エリア内における自動走行のルール策定に貢献し、ひいては成田国際空港への自動走行レベル4相当自動運転の実装や他空港への普及展開につなげることを目指します。

そのうえで、ローカル5G活用モデルを他空港普及展開していくに当たっては、まずは成田国際空港と同様の課題を抱える空港の制限区域内がターゲットとなります。すなわち、連絡バス・ランプバスやトーイングトラクタ等の自動化へのニーズがあり、乗降客や各種車両が多く、自動運転専用の帯域を確保することに有用性がある空港において、自動運転車両の導入を展開することが可能であると考えられます。

具体的には、成田国際空港以外の主要空港（新千歳空港、羽田国際空港、中部国際空港、関西国際空港、大阪国際（伊丹）空港、福岡空港、那覇空港等）がまずは想定されます。これらの空港の多くでは、滑走路の増設やエプロンの拡張等の空港の機能強化が予定されており、新型コロナウイルス感染症の感染拡大以前の旺盛な航空需要を復活させていくことになります。その際、新規就航・増便を実現していくためには連絡バス・オープンスポットまで旅客を運ぶランプバス・トーイングトラクタ等の自動運転化は重要な課題となるため、現在は新型コロナウイルス感染症による影響で苦しい状況にある空港運営会社等としても、同感染症の感染拡大が落ち着き、航空需要が復活してくれば、ローカル5G環境や車両の自動運転化に向けた投資を行っていくことが想定されます。

## 次年度以降の検討の進め方(案)

- L4相当の導入は2025年までを目標とするが、共通インフラや運用ルール等の検討状況も踏まえつつ、実現性の高い空港、エリア、ルート等については可能な限り前倒しでの導入を目指す。
- 2021年度よりL4相当の導入に向けた実証実験を開始。L3相当についても、導入空港を拡大するとともに、自動運転車両の走行データ等をL4相当の導入に向けた検討に活用する。



図 4-228 (出典) 第8回国土交通省航空局「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」(令和3年3月17日)

### ○旅客(国際+国内)

順位	空港	旅客数(人)	
		年間	日平均
1	東京国際	86,920,293	238,138
2	成田国際	42,413,928	116,203
3	関西国際	31,807,820	87,145
4	福岡	24,679,617	67,616
5	新千歳	24,599,263	67,396
6	那覇	21,761,828	59,622
7	大阪国際	16,504,209	45,218
8	中部国際	13,460,149	36,878
9	鹿児島	6,075,210	16,645
10	仙台	3,855,387	10,563
11	熊本	3,492,188	9,568
12	宮崎	3,410,361	9,344
13	神戸	3,362,720	9,213

図 4-229 (出典) 空港管理状況調査(2019年)

更に、空港以外への横展開については、**空港と同様に敷地が広く、人や車両が混在するエリア**において、ローカル5Gを活用した自動運転の導入を調査することが可能です。具体的には、**工場、物流施設、テーマパーク、港湾、農場**等が考えられ、これらの分野においても、円滑な移動、運転手不足、生産性向上等の課題を解決するために自動運転技術の活用が期待されます。このためには、5章普及啓発活動を通じ、空港におけるモデルを広く知らしめ、実装に対するイメージを湧かせることでハードルを下げる必要があります。

この為、NTT 東日本主催の「NTT 東日本 Solution Forum2022・ONLINE」で、ローカル5G環境での空港内自動運転走行実証の準備状況について、ビデオや要素技術紹介、計画等を示し、想定ユーザにおける展開したときの実装イメージや効果を伺い、普及展開時の課題と解決案の空港モデルとの差異を分析します。

コロナ対応のため完全オンライン開催となり、直接お客様にお伺いしてフィードバックを得られる機会はなかったですが、弊社フォーラムにおいてビデオ紹介し、本取組のPRを行いました。



図 4-230 ビデオ中の紹介映像冒頭



図 4-231 ローカル5Gを用いた事前実験の紹介風景



図 4-232 ローカル5Gを用いた遠隔監視実験風景

#### 4.4.3 ローカル5Gの実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討

自動走行レベル4相当の自動運転を空港制限区域内で本格的に実装するためには、①通信や遠隔監視を含めた自動走行レベル4相当に係る運用ルールの確立（遠隔監視時の事故対応、かけつけなどの運用を含む）、②ローカル5G通信による同時遠隔監視、③一人の遠隔監視者による複数台同時監視手法の確立を要します。

今年度の実証実験で1台の遠隔監視時における通信量・速度、オペレーション上の課題を特定し、これが複数台となった場合の簡易的なシミュレーション等を行うことで解決の方向性を検討しました。

##### (1) 課題

##### ① 導入効果、運用に関する課題

4.4.2.1章に課題及び対応策をまとめて記載しましたので、再掲いたします。

成田国際空港は大規模空港であるため、一台や二台の連絡バス導入では効果が弱いと考えます。

##### ② 技術的課題

4.4.2.1章(1)⑧に課題及び対応策をまとめて記載しましたので、再掲いたします。

a)安定した遠隔監視用の通信、b)有事のシームレスなオペレーション、c)コロナ後の航空需要をさばけるオペレーション、d)アンケート調査結果を踏まえて抽出した課題への対応が必要となります。

##### ③ 制度的課題

「官民 ITS 構想・ロードマップ」(2021年6月15日高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議)においては、自動走行レベル3はシステムがすべての動的タスクを限定領域において実行しますが、作業継続が困難な場合にはシステムの介入要求等に運転者が適切に応答し、引き継ぐものとされています。これを参考に、今般の空港制限区域内における自動走行は自動走行レベル3相当とされ、現時点においては公道のように道路運送車両の保安基準(昭和26年運輸省令第67号)を満たすのではなく、①模擬フィールド試験・実証実験の結果、②これらを踏まえた「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」(以下本項4.4.2.2章において「制限エリア内検討会」という。)における評価、により車両使用の承認要件に必要な証明と見做すこととされています。

今後、2025年の自動走行レベル4相当の導入に向けては制限エリア内検討会において議論されることとなりますが、官民 ITS 構想・ロードマップにおける自動走行レベル4相当の定義においては、操縦の主体が「システム」のみであることから、原則として運転者が車内に存在しないことが前提となることが想定され、この場合においては、特に、事故対応・駆けつけ対応等のために、遠隔監視の必要性が一層高くなると考えます。

#### ④ 普及方策に係る課題

ローカル5G活用モデルを他空港等へ普及展開していくことを考えます。

#### (2) 解決策

##### ① 導入効果、機能、運用に関する解決策

4.4.2.1章に課題及び対応策をまとめて記載しましたので、再掲いたします。

成田国際空港は大規模空港であるため、一台や二台の連絡バス導入では効果が弱く、大量導入してこそ専用のローカル5Gを建てる投資対効果も生まれるため、将来的には一人による複数台監視を実現する必要があると考えます。

##### ② 技術的解決策

4.4.2.1章(1)⑧に課題及び対応策をまとめて記載しましたので、再掲いたします。

このためには、a)安定した遠隔監視用の通信、b)有事のシームレスなオペレーション、c)コロナ後の航空需要をさばけるオペレーション、d)アンケート調査結果を踏まえて抽出した課題への対応が必要となります。

###### a) 安定した遠隔監視用の通信について

本実証を通じて、ローカル5Gの安定性やキャリア網との冗長性の検証を通じて検証できたものと考えていますが、実際に複数台を導入した際にも問題なく遠隔監視が可能となるかは今後の課題となります。

###### b) 有事のシームレスなオペレーションについて

本実証では、遠隔監視室が制限区域の実証ルートと距離があったため、有事の際の駆け付けは困難でしたが、今後は、例えば遠隔監視室と制限区域内の警備との連携等も含めて、即座に対応できる運用を検討していく必要があります。

###### c) コロナ後の航空需要をさばけるオペレーションについて

コロナ後には航空需要が戻り、成田国際空港では非常に多くの航空便が行き交うこととなり、旅客も増えます。その際、ターミナル間の連絡バスの定時性の確保は重要となるため、遠隔監視型の自動運転バスにおいても、スムーズなオペレーションを確保することが課題となります。本実証においても、乗降時の遠隔からのドアの開閉・発進・緊急停止、ダイヤ走行等を実施し、概ね問題ないことを確認しました。将来的には、実際の旅客や旅客数への対応を検討し、利用者利便を向上させながら導入を目指したいと考えています。

###### d) アンケート調査結果を踏まえて抽出した課題について

4.4.1.1章(3)③アンケート調査より主に以下の4点について課題抽出されており、実証シナリオ整理や追加開発のうえ課題精査と解決をしていく必要があります。

- ・急停車等に起因する乗り心地の改善
- ・有人走行時と同等のサービスレベルを無人走行時でも確保（問い合わせ・UD 対応等）
- ・乗客やグラウンドハンドリング（GSE 車両ドライバー等）に対する自動運転の

理解促進

- ・ 緊急時・保守時の駆け付け体制や代替輸送サービスの確保（悪天候時含む）、遠隔監視者の要件の整理、対応者へのスキル委譲



図 4-51 遠隔操作によるドア開閉

- T2（10:05発）→T3（10:12着）
- T3（10:20発）→T2（10:27着）
- T2（10:35発）→T3（10:40着）
- T3（10:45発）→T2（10:52着）
- T2（11:05発）→T3（11:10着）
- T3（11:15発）→T2（11:22着）

図 4-52 走行ダイヤ（2022/2/25 AM）

### ③ 制度的課題

「官民 ITS 構想・ロードマップ」（2021 年 6 月 15 日高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議）においては、自動走行レベル 3 はシステムがすべての動的タスクを限定領域において実行しますが、作業継続が困難な場合にはシステムの介入要求等に運転者が適切に応答し、引き継ぐものとされています。これを参考に、今般の空港制限区域内における自動走行は自動走行レベル 3 相当とされ、現時点においては公道のように道路運送車両の保安基準（昭和 26 年運輸省令第 67 号）を満たすのではなく、①模擬フィールド試験・実証実験の結果、②これらを踏まえた「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」（以下本項 4.4.2.2 章において「制限エリア内検討会」という。）における評価、により車両使用の承認要件に必要な証明と見做すこととされています。

今後、2025 年の自動走行レベル 4 相当の導入に向けては制限エリア内検討会において議論されることとなりますが、官民 ITS 構想・ロードマップにおける自動走行レベル 4 相当の定



義においては、操縦の主体が「システム」のみであることから、原則として運転者が車内に存在しないことが前提となることが想定され、この場合においては、特に、事故対応・駆けつけ対応等のために、遠隔監視の必要性が一層高くなります。

実装を見据え、コスト面を考慮に入れると、複数台の車両をそれより少ない人数で遠隔監視できるようにすることが重要であり、それに耐えうる通信インフラは欠かせないため、この点も含め「制限エリア内検討会」において、必要に応じて本実証実験への報告を行い、制限エリア内における自動走行のルール策定に貢献し、ひいては成田国際空港への自動走行レベル4相当自動運転の実装や他空港への普及展開につなげることを目指します。

また、4.4.2.1章に本項に係る課題及び対応策をまとめて記載しましたので、再掲いたします。現状の航空局のルールにおいては、車内に運転手がいなければならないため、遠隔監視のみによる運行はできず、航空局のルール策定議論への参加・貢献が必要となってきます。「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」に参加している成田国際空港株式会社及び株式会社ティアフォーが、本実証の結果を当該委員会で報告するなど、ルール策定の議論に貢献しています。

具体的には、遠隔監視のみによる運行を見据え、ローカル5Gを活用した遠隔監視に係る技術・運用上の課題、キャリア網との冗長性確保の有効性等について報告しました。これにより、中長期的なインフラの課題とされている「通信ネットワークの増強」についての議論に資するための情報共有を行いました。

(報告資料は4.4.2.1章参照)

#### ④ 普及方策に係る課題及び解決策

ローカル5G活用モデルを他空港普及展開していくに当たっては、まずは成田国際空港と同様の課題を抱える空港の制限区域内がターゲットとなります。すなわち、連絡バスやトーイングトラクタ等の自動化へのニーズがあり、乗降客や各種車両が多く、自動運転専用の帯域を確保することに有用性がある空港において、自動運転車両の導入を展開することが可能であると考えられます。

具体的には、成田国際空港以外の主要空港がまずは想定されます。これらの空港の多くでは、滑走路の増設やエプロンの拡張等の空港の機能強化が予定されており、新型コロナウイルス感染症の感染拡大以前の旺盛な航空需要を復活させていくこととなります。その際、新規就航・増便を実現していくためには連絡バス・オープンスポットまで旅客を運ぶ連絡バス・トーイングトラクタ等の自動運転化は重要な課題となるため、現在は新型コロナウイルス感染症による影響で苦しい状況にある空港運営会社等としても、同感染症の感染拡大が落ち着き、航空需要が復活してくれば、ローカル5G環境や車両の自動運転化に向けた投資を行っていくことが想定されます。

更に、空港以外への横展開については、空港と同様に敷地が広く、人や車両が混在するエリアにおいて、ローカル5Gを活用した自動運転の導入を調査することが可能である。具体的には、工場、物流施設、テーマパーク、港湾、農場等が考えられ、これらの分野においても、円滑な移動、運転手不足、生産性向上等の課題を解決するために自動運転技術の活用が期待されます。このためには、空港におけるモデルを技術的成立性ととも広く知らしめ、実装に対するイメージを湧かせることで、自動走行を施設内に受け入れもらうための社会的な受容性に対するハードルを下げることを狙います。

### (3) 検証項目の精査

#### ① 導入効果、機能、運用に関する検証項目の精査

本実証において、1台監視による空港制限区域内自動走行レベル3相当実験車での検証が行えたので、今後、複数台監視に係る検証項目を精査し、進めてまいります。

#### ② 技術的解決策と検証項目の精査

4.4.2.1章(1)⑧に課題及び対応策をまとめて記載しましたので、再掲いたします。

このためには、a)安定した遠隔監視用の通信、b)有事のシームレスなオペレーション、c)コロナ後の航空需要をさばけるオペレーション、d)アンケート調査結果を踏まえて抽出した課題への対応が必要となります。

##### a) 安定した遠隔監視用の通信について

本実証を通じて、ローカル5Gの安定性やキャリア網との冗長性の検証を通じて検証できたものと考えていますが、実際に複数台を導入した際にも問題なく遠隔監視が可能となることを、必要に応じローカル5G・キャリア冗長系を含む遠隔型自動運転システムの改良を加え、複数台実験車両および遠隔監視システムに対応させ、検証する必要があると考えます。

##### b) 有事のシームレスなオペレーションについて

本実証では遠隔監視室が制限区域の実証ルートと距離があったため、有事の際の駆け付けは困難でしたが、今後は、例えば遠隔監視室と制限区域内の警備との連携等も含め、即座に対応できる運用シナリオを設定し、必要に応じローカル5Gを含む遠隔型自動運転システムの駆け付けに係る改良を加え、シナリオを模擬し、実証していく必要があると考えられます。

##### c) コロナ後の航空需要をさばけるオペレーションについて

コロナ後には航空需要が戻り、成田国際空港では非常に多くの航空便が行き交うこととなり、旅客も増えます。その際、ターミナル間の連絡バスの定時性の確保は重要となるため、遠隔監視型の自動運転バスにおいても、スムーズなオペレーションを確保することが課題となります。本実証においても、乗降時の遠隔からのドアの開閉・発進・緊急停止、ダイヤ走行等を実施し、概ね問題ないことを確認しました。実際の旅客や旅客数への対応を模して実証およびシステム試作等通じ、利用者利便を向上させながら導入を目指したいと考えます。

##### d) アンケート調査結果を踏まえて抽出した課題について

4.4.1.1章(3)③アンケート調査より主に以下の4点について課題抽出されており、実証シナリオ整理や追加開発のうえ課題精査と解決をしていく必要があります。

- ・急停車等に起因する乗り心地の改善
- ・有人走行時と同等のサービスレベルを無人走行時でも確保（問い合わせ・UD対応等）
- ・乗客やグランドハンドリング（GSE車両ドライバー等）に対する自動運転の理解促進
- ・緊急時・保守時の駆け付け体制や代替輸送サービスの確保（悪天候時含む）、遠

隔監視者の要件の整理、対応者へのスキル委譲

この際、ユースケース追加し混在する際のローカル5G通信の自動運転に与える影響等を実証通じ精査し、必要な通信を守るよう対策を講じていく要否についても見極めていく必要があると考えられます。

### ③ 制度的課題の検証項目の精査

「官民 ITS 構想・ロードマップ」（2021年6月15日高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議）においては、自動走行レベル3はシステムがすべての動的タスクを限定領域において実行しますが、作業継続が困難な場合にはシステムの介入要求等に運転者が適切に応答し、引き継ぐものとされています。これを参考に、今般の空港制限区域内における自動走行は自動走行レベル3相当とされ、現時点においては公道のように道路運送車両の保安基準（昭和26年運輸省令第67号）を満たすのではなく、①模擬フィールド試験・実証実験の結果、②これらを踏まえた「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」（以下本項4.4.2.2章において「制限エリア内検討会」という。）における評価、により車両使用の承認要件に必要な証明と見做すこととされています。

今後、2025年の自動走行レベル4相当の導入に向けては制限エリア内検討会において議論されることとなりますが、官民 ITS 構想・ロードマップにおける自動走行レベル4相当の定義においては、操縦の主体が「システム」のみであることから、原則として運転者が車内に存在しないことが前提となることが想定され、この場合においては、特に、事故対応・駆けつけ対応等のために、遠隔監視の必要性が一層高くなります。

実装を見据え、コスト面を考慮に入れると、複数台の車両をそれより少ない人数で遠隔監視できるようにすることが重要であり、それに耐えうる通信インフラは欠かせないため、この点も含め「制限エリア内検討会」において、必要に応じて本実証実験への報告を行い、制限エリア内における自動走行のルール策定に貢献し、ひいては成田国際空港への自動走行レベル4相当自動運転の実装や他空港への普及展開につなげることを目指します。

また、4.4.2.1章に本項に係る課題及び対応策をまとめて記載しましたので、再掲いたします。現状の航空局のルールにおいては、車内に運転手がいなければならないため、遠隔監視のみによる運行はできず、航空局のルール策定議論への参加・貢献が必要となってきます。「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」に参加している成田国際空港株式会社及び株式会社ティアフォーが、本実証の結果を当該委員会で報告するなど、ルール策定の議論に貢献しています。

具体的には、遠隔監視のみによる運行を見据え、ローカル5Gを活用した遠隔監視に係る技術・運用上の課題、キャリア網との冗長性確保の有効性等について報告しました。これにより、中長期的なインフラの課題とされている「通信ネットワークの増強」についての議論に資するための情報共有を行いました（報告資料は4.4.2.1章参照）。

検討委員会での報告やコメントを通じ、上述の検討内容を見極めていくことが必要と考えます。

### ④ 普及方策に係る課題及び解決策の検証項目の精査

ローカル5G活用モデルを他空港普及展開していくに当たっては、まずは成田国際空港と同様の課題を抱える空港の制限区域内がターゲットとなります。すなわち、連絡バスやトー

イングトラクタ等の自動化へのニーズがあり、乗降客や各種車両が多く、自動運転専用の帯域を確保することに有用性がある空港において、自動運転車両の導入を展開することが可能であると考えられます。

具体的には、成田国際空港以外の主要空港がまずは想定されます。これらの空港の多くでは、滑走路の増設やエプロンの拡張等の空港の機能強化が予定されており、新型コロナウイルス感染症の感染拡大以前の旺盛な航空需要を復活させていくことになります。その際、新規就航・増便を実現していくためには連絡バス・オープンスポットまで旅客を運ぶ連絡バス・トーイングトラクタ等の自動運転化は重要な課題となるため、現在は新型コロナウイルス感染症による影響で苦しい状況にある空港運営会社等としても、同感染症の感染拡大が落ち着き、航空需要が復活してくれば、ローカル5G環境や車両の自動運転化に向けた投資を行っていくことが想定されます。

更に、空港以外への横展開については、空港と同様に敷地が広く、人や車両が混在するエリアにおいて、ローカル5Gを活用した自動運転の導入を調査することが可能である。具体的には、工場、物流施設、テーマパーク、港湾、農場等が考えられ、これらの分野においても、円滑な移動、運転手不足、生産性向上等の課題を解決するために自動運転技術の活用が期待されます。このためには、空港におけるモデルを技術的成立性ととも広く知らせ、実装に対するイメージを湧かせることで、自動走行を施設内に受け入れもらうための社会的な受容性に対するハードルを下げることを狙います。

他空港における展開について、他空港やエアライン関係者出席が見込まれる国土交通省航空局主催「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」での意見をもとにした改善、継続的に本委員会参加事業者の知見の取得を行い、他空港にも共通する成田国際空港の適用課題を重点に上述の検討課題を見直す必要があると考えます。

#### 4.4.4 継続利用の見通し・実装計画

##### (1) 対象期間前提

1章概要を再掲いたします。

国土交通省の企図する2025年自動走行レベル4相当の導入に向けては、空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会において必要に応じて本実証の成果報告を行い、制限エリア内における自動走行のルール策定に貢献し、ひいては成田国際空港への自動走行レベル4相当自動運転の実装や他空港への普及展開につなげることを目指します。

##### (2) 収支計画に係る考察

国土交通省の企図する2025年空港制限区域内自動走行レベル4相当の導入については、ルール策定及びルール策定後の商用化に向けて、ローカル5G等活用した遠隔型自動運転システム試作・実証に係る開発費と開発に係る自動運転走行ルートへのローカル5G敷設及び機能向上が想定されます(4.4.3章に記載の課題解決に向けた開発を想定)。

開発費算出にあたり、現時点でルール策定に依存すること、および電気自動車による遠隔型自動運転システムの部品・ローカル5GコストがP o Cから社会実装へ移行しつつあるタイミングにあることから、量産部品を適用できず、高額であることが導入の課題です。

以下4.4.1.1章(3)④経済性検討結果を再掲いたします。主たる開発費を要する遠隔型自動運転システムとは別に、ローカル5G部品コストについては本実証のローカル5G・キャリア通信の冗長系構成を遠隔型自動運転システムへソフトウェア実装することを前提として、汎用通信装置ハードウェアを適用可能性があることがわかっています。現時点で2025年以降のコストは明らかになっていませんが、大規模な車両開発費を含む遠隔型自動運転システムに係る主な開発費償却に間に合っ、ローカル5G本体コスト低廉化恩恵を受けて空港専用の特種な5G装置を要することなく、空港内自動運転走行エリアに適用していくことを目指すことで、具体的な2025年以降の支出算出が経済合理性をもって行えるものと考えています。

再掲として、現在の経済性成立に係る調査を以下に示します(4.4.1.1章(3)④)。

経済性については、以下の観点の調査を行いました。

本実証を踏まえ、空港制限区域内においてレベル4相当の自動運転バスを導入した場合には、現在の技術を前提に、1:1の遠隔監視では人件費が下がらず、かつ、研究開発費が高まっていること、センサ等の価格もまだ十分に下がっていない状況を踏まえると、自動運転そのもののコストも高く、また、ローカル5Gの通信に係るコストも高い状況であり、現状のままでは直ちにコストメリットが出ません。

一方、社会実装フェーズに入ると、研究開発費の減少(回収)や、センサ等の価格の低廉化が進み、更に1:Nの遠隔監視に係るオペレーション等が確立されることで、現行のバスに比肩する程度のコスト感になるタイミングが早晚訪れることが考えられます。例えば、センサー類については、LiDAR製作のVelodyne社は、2017年には17,900ドルであったLiDARの平均単価を2024年には600ドルにまで下げる計画を発表しています。

(<https://velodynelidar.com/wp-content/uploads/2020/07/GRAF-Velodyne-Investor-Presentation.pdf>)

また本実証モデルとして、センサ同様に遠隔型自動運転システムの一部として組み込むローカル5G通信機能についても、技術的な利点はあるものの、こんにちの導入・運用コストが極めて高額で適用障壁となっています。ローカル5Gの社会実装フェーズへ向けた取り組みの一步として、先日NTT東日本はマネージド型ローカル5Gサービス提供を発表しました([https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20220301\\_01.html](https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20220301_01.html))。2021年度導入総コストに対し、2022年度以降サービス提供費を1/5に下げるものです(例:5年1億円程度要していたものを2000万円程度へ低廉化)。特に、1:Nでの遠隔監視の実現にあたっては、想定される通信容量増加に対して、上り通信の比率を高める準同期設定が可能な、低廉化したローカル5Gの活用が期待されます。2025年ころの自動運転社会実装時においては、グローバルでの5G機器普及及び研究開発投資回収が進みさらなる機器低廉化が期待できることとあわせ、その恩恵を受けるために自動運転適用に対して大きなハードウェア要件変更を量産5G機器に対し求めることなく、実適用していくことも肝要であることがわかりました。本実証での汎用5G機器(ローカル5G・キャリア通信)を用いた冗長系機能実装等をふまえ、複数台や走行ルート全域でのキャリア通信とローカル5G通信の冗長系機能実装等の安定運用や障害時の復旧迅速化に向けたソフトウェア開発や他ユースケース共用性等、無線通信の伝搬等による課題をソフトウェアレベルで解決し、ローカル5G構築時の伝搬特徴を踏まえてエリア構築を確立することが進められれば、自動運転センサ等の低廉化に間に合っ、コストの主要因となる5G機器を汎用量産品と大きく変更せず導入でき、キャリアを含むグローバル市場の5G展開に応じたコストメリットを遅滞なく速やかに享受しうることがあります。2025年度運用開始までの取り組みにおいて、5G無線通信課題を自動運転システムと一緒にソフトウェアおよび5Gエリア構築で解いて、モデル構築および安全性・信頼性を含む運用ルール等を確立していくことで、5G機器・サービス低廉化の恩恵を受け、より確実な遠隔型自動運転に資するローカル5Gの活用が期待されるものと考えます。

下図は社会実装時(2025年以降の普及想定)と現時点のコスト構造を分析したものです。左から3番目は現在のLv4相当のキャリア通信およびローカル5G冗長系を用いた遠隔型自動運転を示したものです。社会実装時に現行バスコストと同等かつ空港機能拡張時に追加人員を要しないために、5Gによる遠隔機能含む自動運転システムは研究開発費の按分台数増による償却とセンサ・EV等低廉化、1:N遠隔型自動運転の確立、5Gシステムの量産5G機器の自動運転適用による通信費低廉化(ローカル5G+キャリア通信)が経済性確立のためのキードライバであり、これらを考慮し、示しています。

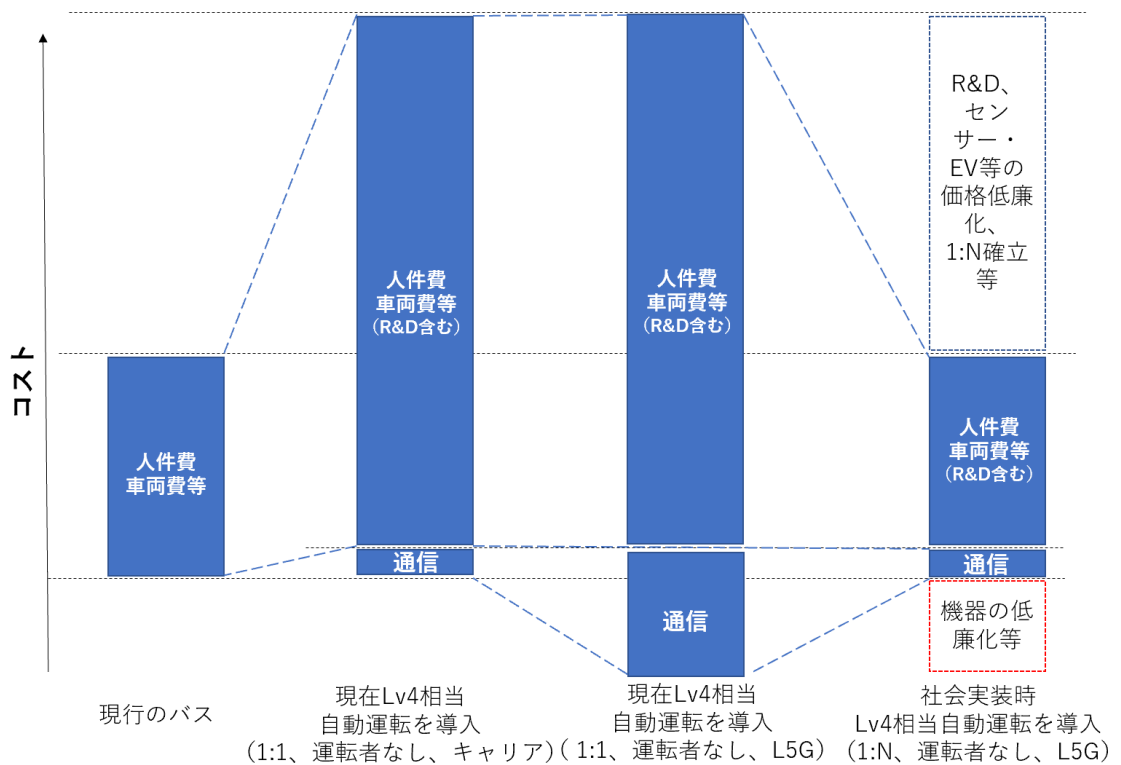


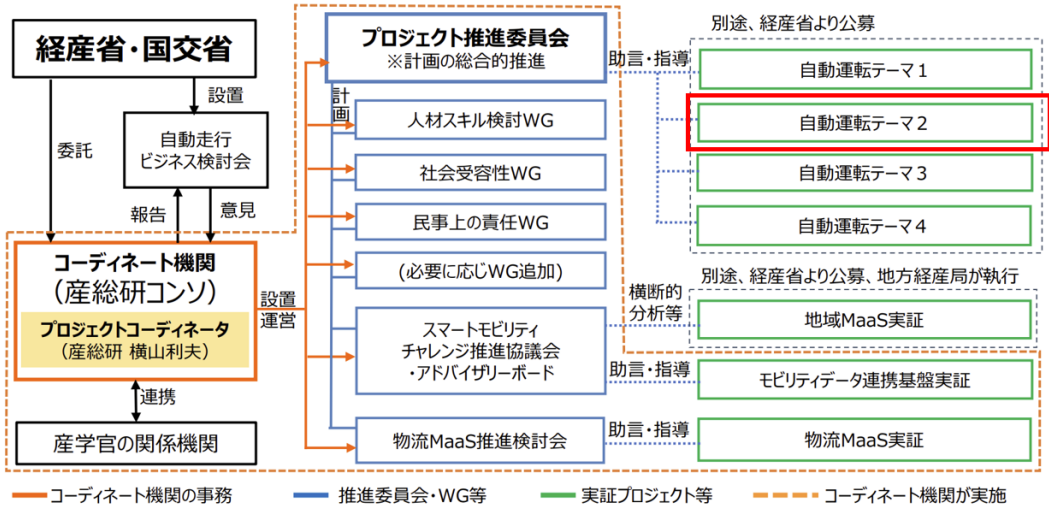
図 4-45 現在と将来のローカル 5 G を活用した自動運転のコスト構造イメージ

なお、自動運転については、車両・インフラ・遠隔の役割分担や市場性等について、経済産業省・国土交通省「RoAD to the L4 テーマ2 タスクフォース」(座長：東京大学・加藤真平准教授。株式会社ティアフォーが構成員として参画。2021 年度～) において政府・業界一堂に会して検討中であり、今後、この議論の推移を踏まえながら、成田国際空港におけるローカル 5 G を活用した自動運転の経済性の成立についても引き続き検討していきます。

# 1. 「自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト（RoAD to the L4）」 研究開発・社会実装計画 概要

## 実施体制

- 本プロジェクトの総合的調査検討を担う機関（コーディネート機関）に、プロジェクトコーディネータを設置
- プロジェクトコーディネータは、本研究開発・社会実装計画のPDCAを担う  
担当省庁や推進委員会等の意見を聴きつつ、計画案の作成、計画に基づいた各テーマ等の進捗管理を実施

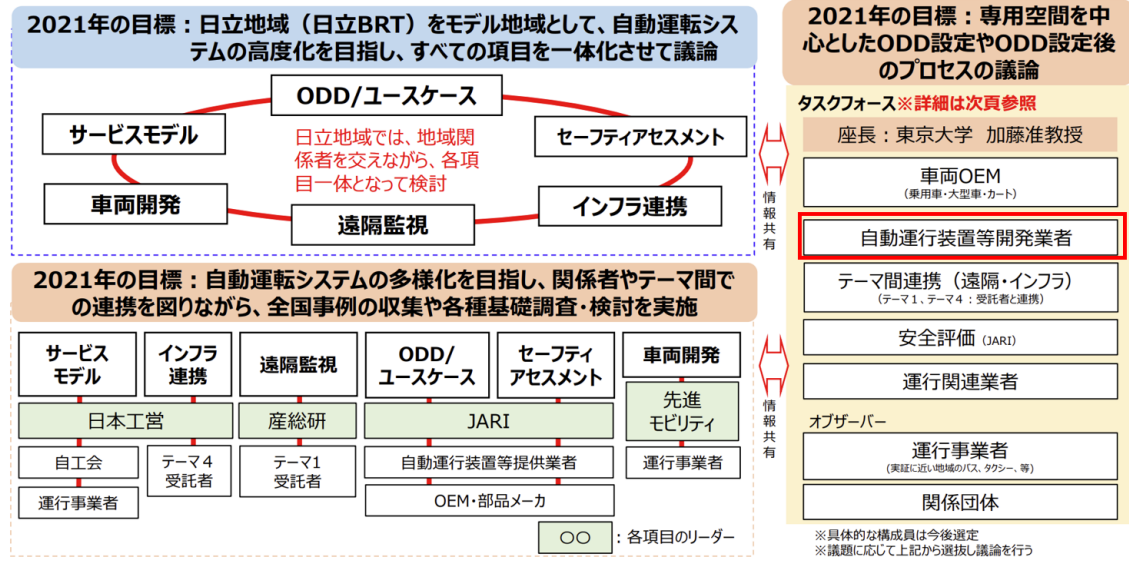


産総研コンソーシアム：産業技術総合研究所 野村総合研究所 日本工営株式会社 三菱総合研究所 (株) テクノバ 豊田通商株式会社

## 3. 検討体制（テーマ2全体）

- ・自動運転システムの高度化と多様化の両輪でプロジェクトを推進する検討体制を構築する。
- ・高度化に向けて、モデル地域である日立BRTを対象に地域関係者を交えながら一体となって検討を進める。
- ・多様化に向けて、タスクフォースでの議論が中心となるが、議論の題材となる全国事例の収集や各種基礎調査・検討は、テーマ2の構成員が中心となって調査・検討を進めていく。

### ■テーマ2の検討体制（案）





## 1. テーマ2の目標・実施方針

・テーマ2の目標達成に向けて、早期で確実に実現していくために、自動運転システムの高度化と多様化の両輪で進めことができる検討体制を構築し、自動運転システム全体の役割分担や安全性、市場性の3つに留意してプロジェクトを推進していく。

### ■テーマ2：さらに、対象エリア、車両を拡大するとともに、事業性を向上するための取組

#### 【将来像】

- 2025年度までに多様なエリアで、多様な車両を用いた無人自動運転サービス（レベル4）を40箇所以上で実現
- 多様なサービスに展開できる事業モデルやインフラ・制度を構築



- 課題①：無人自動運転サービスの導入【レベル2（ドライバー監視）⇒レベル3以上（システム監視）】
- 課題②：5か年という限られた期間でのエリア・車両拡大（地域へ横展開する期間を考慮すると、検討期間は短い）

### ■テーマ2の実施方針

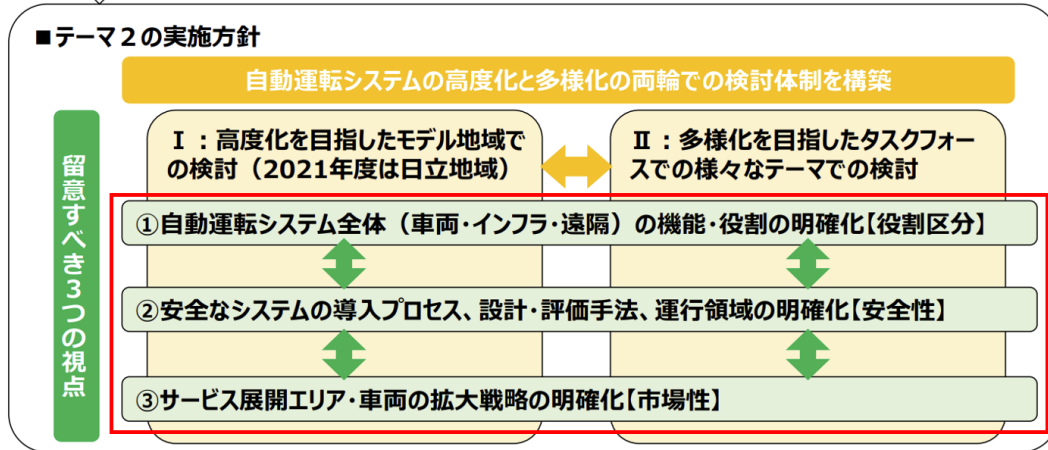


図 4-46 「RoAD to the L4 テーマ2」

出所：

[https://www.meti.go.jp/policy/mono\\_info\\_service/mono/automobile/Automated-driving/5\\_yokoyama.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/automobile/Automated-driving/5_yokoyama.pdf)

[https://www.meti.go.jp/policy/mono\\_info\\_service/mono/automobile/Automated-driving/6.2\\_murato.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/automobile/Automated-driving/6.2_murato.pdf)

なお、空港内特殊環境下での遠隔監視における要件は、空港内は一般公道とは ODD (Operational Design Domain=運行設計領域。自動運転システムを開発・設計するうえで、それぞれのシステムが作動する前提となる走行環境条件をいう。) が異なる(一般歩行者の横断・順行・逆走や一般車両の走行などが想定されず、空港内で働くスタッフへの周知によりある程度コントロールが可能であり、ほぼ専用道と同等の扱いが可能でよりシンプル) 要件であることから、4.4.1.1 章(3)②③項記載及び 4.4.1.2 章に後述のとおり、制限区域内の安全を確保に必要な十分な遠隔監視要件を実証環境において結果を得ました。また、実証環境 3.2 章で記載している構造物や位置候補周辺(再掲:バス停留場はターミナルビルの 2 階部分を屋根とする屋外環境であり、走行経路はターミナルビルの外縁に沿った屋外環境です。基地局と走行経路の間には、所によりボーディングブリッジや機体による遮蔽があり、屋外ながらも全体の見通しが悪い環境)について、技術実証で着目した測定点のうち走行経路上における遠隔監視の要求仕様に対する網羅性を実機評価し、適用可能性があることを確認し、経済性検討の前提としました。特に空港の特性として、郊外地と開放地の中間的な特性を有すること、複数の航空関係の無線システムを利用していること、制限区域内の連絡バスの遅延はお客様の乗り継ぎ等に多大な影響を及ぼすことから、より遅延性能の安定性に重要性が高いことがあると想定しています。

### (3) 解決策の計画化（案）

4.4.3 に対し、国土交通省航空局の企図する 2025 年空港制限区域内自動運転レベル 4 相当実現目標に向け、以下期間における課題解決を図っていく必要があると考えられます。全ての項目において机上検討着手は必要と考え、さらにシステム開発及び実機実証を伴う優先順位については、今年度の自動走行に係る国土交通省・経済産業省主催の検討会（RoAD to the L4 等）における議論・本実証結果、国土交通省航空局検討委員会の結果を総合し、ローカル 5G 等通信の残課題を含む空港特有に係る着手課題および実証等立案を行っていく必要があるものと考えられます。

現時点での解決策案とその計画想定（例）		2022	2023	2024	2025～
					★空港制限区域内自動運転レベル 4 相当実現（仮）
1) 導入効果、機能、運用の例	複数台監視等の開発	→			→
2) 技術的解決策の主な例	①安定した遠隔監視用の通信の開発	→			→
	②有事のシームレスなオペレーションの開発	→			→
	③コロナ後の航空需要をさばけるオペレーションの開発	→			→
	④アンケート調査結果を踏まえて抽出した課題の開発 等	→			
	例) 急停車等に起因する乗り心地の改善				
	例) 有人走行時と同等のサービスレベルを無人走行時でも確保				
	例) 乗客やグラウンドハンドリング対応				
	例) 緊急時・保守時の駆け付け体制や代替輸送サービスの確保				
3) 制度的課題の例	「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」への参加、ルール策定への実証結果提供を通じた貢献 等	→			→
4) 普及方策に係る課題及び解決策の例	成田国際空港での実証継続（仮） 等	→			→
	「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」への参加し、他空港関係者等からの意見・知見の収集とシステム適用 等	→			→
		※国土交通省航空局様の走行許可等による			

図 4-46 解決策の計画化（案）

### (4) シナリオの見直し等の取り組み

以下を中心に、実証実験結果を踏まえ、不確定要素の課題精査と解決、シナリオの見直しを適宜進めてまいりました。

- ・ 継続的なデータ取得による事象データの精緻化

- ・ 関係事業者への更なるヒアリングによる更なる課題洗い出し
- ・ 国土交通省航空局主催「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」での意見をもとにした改善、継続的に本委員会参加事業者の知見の取得
- ・ 技術・コスト面の観点から選定機器や運用方法（走行エリア、オペレーション）等の見直し

#### ① ユーザニーズやコスト等を踏まえた経済性

ユーザニーズについては自動運転乗車参加者からのアンケートにより、ニーズ及び課題を分析しました。4.4.1.1章(3)③関係者理解にてアンケート結果を記し、4.4.2.1章に課題整理をしました。

##### 再掲) 4.4.2.1章課題・解決策

アンケート調査より主に以下の4点について課題抽出されており、今後の実証に向けて解決していく必要があります。

- ・ 急停車等に起因する乗り心地の改善
- ・ 有人走行時と同等のサービスレベルを無人走行時でも確保（問い合わせ・UD対応等）
- ・ 乗客やグランドハンドリング（GSE 車両ドライバー等 に対する自動運転の理解促進）
- ・ 緊急時・保守時の駆け付け体制や代替輸送サービスの確保（悪天候時含む）、遠隔監視者の要件の整理、対応者へのスキル委譲

こちらの課題については、4.4.1.1章(3)④の再掲として、車両・インフラ・遠隔の役割分担や市場性等について、経済産業省・国土交通省「RoAD to the L4 テーマ2タスクフォーラム」(座長：東京大学・加藤真平准教授。株式会社ティアフォーが構成員として参画。2021年度～)において政府・業界一堂に介して検討中であり、今後、この議論の推移を踏まえながら、成田国際空港におけるローカル5Gを活用した自動運転の経済性の成立についても引き続き検討していきます。

また、再掲として、現在の経済性成立に係る調査を以下に示します(4.4.1.1章(3)④)。

経済性については、以下の観点の調査を行いました。

本実証を踏まえ、空港制限区域内においてレベル4相当の自動運転バスを導入した場合には、現在の技術を前提に、1:1の遠隔監視では人件費が下がらず、かつ、研究開発費が嵩んでいること、センサー等の価格もまだ十分に下がっていない状況を踏まえると、自動運転そのもののコストも高く、また、ローカル5Gの通信に係るコストも高い状況であり、現状のままでは直ちにコストメリットが出ません。

一方、社会実装フェーズに入ると、研究開発費の減少（回収）や、センサー等の価格の低廉化が進み、更に1:Nの遠隔監視に係るオペレーション等が確立されることで、現行のバスに比肩する程度のコスト感になるタイミングが早晚訪れることが考えられます。例えば、センサー類については、LiDAR製作のVelodyne社は、2017年には17,900ドルであ

った LiDAR の平均単価を 2024 年には 600 ドルにまで下げる計画を発表しています。  
(<https://velodynelidar.com/wp-content/uploads/2020/07/GRAF-Velodyne-Investor-Presentation.pdf>)

また本実証モデルとして、センサ同様に遠隔型自動運転システムの一部として組み込むローカル 5 G 通信機能についても、技術的な利点はあるものの、こんにちの導入・運用コストが極めて高額で適用障壁となっています。ローカル 5 G の社会実装フェーズへ向けた取り組みの一步として、先日 NTT 東日本はマネージド型ローカル 5 G サービス提供を発表しました ([https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20220301\\_01.html](https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20220301_01.html))。2021 年度導入総コストに対し、2022 年度以降サービス提供費を 1 / 5 に下げるものです (例: 5 年 1 億円程度要していたものを 2000 万円程度へ低廉化)。特に、1:N での遠隔監視の実現にあたっては、想定される通信容量増加に対して、上り通信の比率を高める準同期設定が可能な、低廉化したローカル 5 G の活用が期待されます。2025 年ころの自動運転社会実装時においては、グローバルでの 5 G 機器普及及び研究開発投資回収が進みさらなる機器低廉化が期待できることとあわせ、その恩恵を受けるために自動運転適用に対して大きなハードウェア要件変更を量産 5 G 機器に対し求めることなく、実適用していくことも肝要であることがわかりました。本実証での汎用 5 G 機器 (ローカル 5 G・キャリア通信) を用いた冗長系機能実装等をふまえ、複数台や走行ルート全域でのキャリア通信とローカル 5 G 通信の冗長系機能実装等の安定運用や障害時の復旧迅速化に向けたソフトウェア開発や他ユースケース共用性等、無線通信の伝搬等による課題をソフトウェアレベルで解決し、ローカル 5 G 構築時の伝搬特徴を踏まえてエリア構築を確立することが進められれば、自動運転センサ等の低廉化に間に合っ、コストの主要因となる 5 G 機器を汎用量産品と大きく変更せず導入でき、キャリアを含むグローバル市場の 5 G 展開に応じたコストメリットを遅滞なく速やかに享受しうる可能性があります。2025 年度運用開始までの取り組みにおいて、5 G 無線通信課題を自動運転システムと一緒にソフトウェアおよび 5 G エリア構築で解いて、モデル構築および安全性・信頼性を含む運用ルール等を確立していくことで、5 G 機器・サービス低廉化の恩恵を受け、より確実な遠隔型自動運転に資するローカル 5 G の活用が期待されるものと考えます。

下図は社会実装時 (2025 年以降の普及想定) と現時点のコスト構造を分析したものです。左から 3 番目は現在の Lv 4 相当のキャリア通信およびローカル 5 G 冗長系を用いた遠隔型自動運転を示したものです。社会実装時に現行バスコストと同等かつ空港機能拡張時に追加人員を要しないために、5 G による遠隔機能含む自動運転システムは研究開発費の按分台数増による償却とセンサ・EV 等低廉化、1 : N 遠隔型自動運転の確立、5 G システムの量産 5 G 機器の自動運転適用による通信費低廉化 (ローカル 5 G+キャリア通信) が経済性確立のためのキードライバであり、これらを考慮し、示しています。

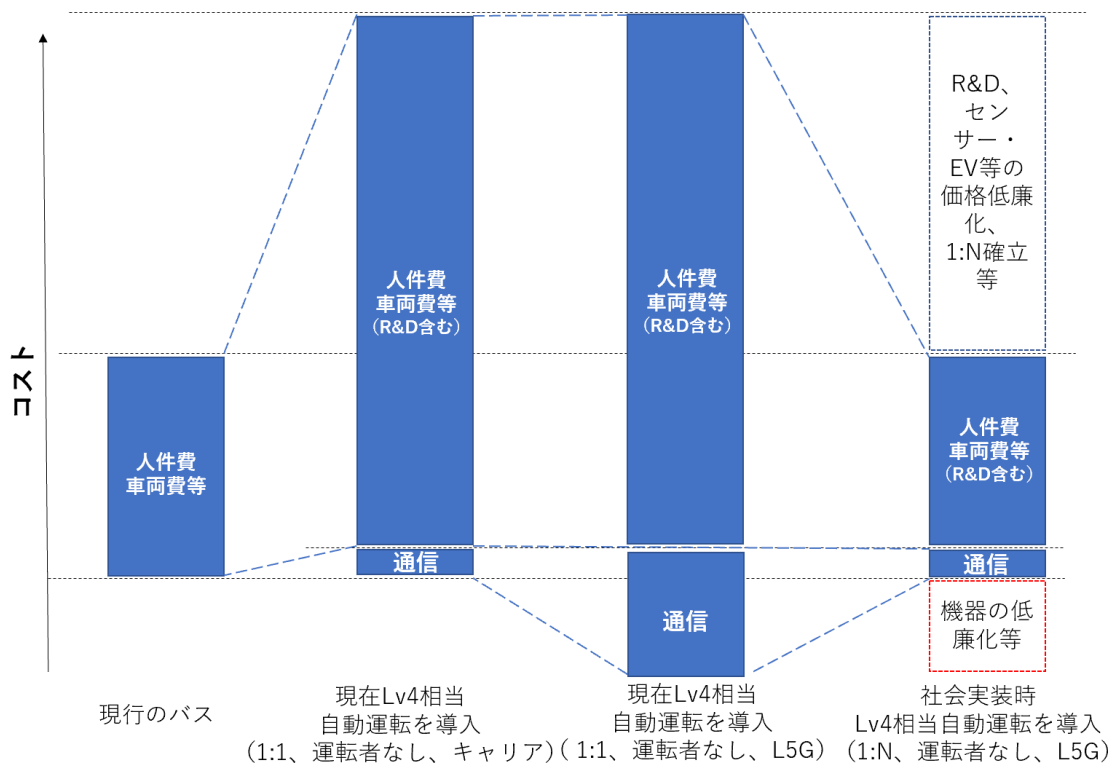


図 4-45 現在と将来のローカル 5 G を活用した自動運転のコスト構造イメージ

## ② 運用・管理等に係る仕組みや方法

4.4.2.1 章に本項に係る課題及び対応策をまとめて記載しましたので、再掲いたします。現状の航空局のルールにおいては、車内に運転手がいなければならないため、遠隔監視のみによる運行はできず、航空局のルール策定議論への参加・貢献が必要となってきます。「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」に参加している成田国際空港株式会社及び株式会社ティアフォーが、本実証の結果を当該委員会で報告するなど、ルール策定の議論に貢献しています。

具体的には、遠隔監視のみによる運行を見据え、ローカル 5 G を活用した遠隔監視に係る技術・運用上の課題、キャリア網との冗長性確保の有効性等について報告しました。これにより、中長期的なインフラの課題とされている「通信ネットワークの増強」についての議論に資するための情報共有を行いました。

(報告資料は 4.4.2.1 章参照)

## ③ 機器の所有権や関係者間の契約及び役割分担

4.4.2.1 章(2)③を再掲します。

検証結果を踏まえて、今年度構築したコンソーシアムとローカル 5 G 環境等の維持を前提に課題解決に向けた実証検討を進める予定です。将来的には成田国際空港を免許人とすることを想定します。現時点での空港制限区域内自動走行レベル 4 相当ガイドライン制定及び空港運用ルール案制定を想定した役割分担案の想定を下表に示します。

表 4-107 役割分担案（ガイドライン・運用ルール制定時の現時点想定）

役割	名称
免許人	成田国際空港株式会社
ローカル5G設備	本実証レンタル会社継続を想定し、一部機器については成田国際空港株式会社にて保有
ローカル5G運用保守	東日本電信電話株式会社
遠隔監視自動運転	株式会社ティアフォー
キャリア通信	KDDI 株式会社

#### ④ ビジネスモデル等、多面的な検討

4.4.2.1章 (1)⑧に記載の課題と対応策検討を進め、社会実装に向けた検討を進めてまいります。以下に再掲します。

成田国際空港は大規模空港であるため、一台や二台の連絡バス導入では効果が弱く、大量導入してこそ専用のローカル5Gを建てる投資対効果も生まれるため将来的には一人による複数台監視を実現する必要があると考えます。

これを実現するためには、a) 安定した遠隔監視用の通信、b) 有事のシームレスなオペレーション、c) コロナ後の航空需要をさばけるオペレーション、d) アンケート調査結果を踏まえて抽出した課題への対応が必要となります。

##### a) 安定した遠隔監視用の通信について

本実証を通じて、ローカル5Gの安定性やキャリア網との冗長性の検証を通じて検証できたものと考えていますが、実際に複数台を導入した際にも問題なく遠隔監視が可能となるかは今後の課題となります。

##### b) 有事のシームレスなオペレーションについて

本実証では、遠隔監視室が制限区域の実証ルートと距離があったため、有事の際の駆け付けは困難でしたが、今後は、例えば遠隔監視室と制限区域内の警備との連携等も含めて、即座に対応できる運用を検討していく必要があります。

##### c) コロナ後の航空需要をさばけるオペレーションについて

コロナ後には航空需要が戻り、成田国際空港では非常に多くの航空便が行き交うこととなり、旅客も増えます。その際、ターミナル間の連絡バスの定時性の確保は重要となるため、遠隔監視型の自動運転バスにおいても、スムーズなオペレーションを確保することが課題となります。本実証においても、乗降時の遠隔からのドアの開閉・発進・緊急停止、ダイヤ走行等を実施し、概ね問題ないことを確認しました。将来的には、実際の旅客や旅客数への対応を検討し、利用者利便を向上させながら導入を目指したいと考えています。

##### d) アンケート調査結果を踏まえて抽出した課題について

4.4.1.1章(3)③アンケート調査より主に以下の4点について課題抽出されており、実証シナリオ整理や追加開発のうえ課題精査と解決をしていく必要があります。

- ・急停車等に起因する乗り心地の改善
- ・有人走行時と同等のサービスレベルを無人走行時でも確保（問い合わせ・UD 対応等）
- ・乗客やグラウンドハンドリング（GSE 車両ドライバー等 に対する自動運転の理解促進
- ・緊急時・保守時の駆け付け体制や代替輸送サービスの確保（悪天候時含む）、遠隔監視者の要件の整理、対応者へのスキル委譲

その他、現状の航空局のルールにおいては、車内に運転手がいないため、遠隔監視のみによる運行はできず、航空局のルール策定議論への参加・貢献が必要となってきます。「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」に参加している成田国際空港株式会社及び株式会社ティアフォーが、本実証の結果を当該委員会で報告するなど、ルール策定の議論に貢献しています。

具体的には、遠隔監視のみによる運行を見据え、ローカル 5 G を活用した遠隔監視に係る技術・運用上の課題、キャリア網との冗長性確保の有効性等について報告しました。これにより、中長期的なインフラの課題とされている「通信ネットワークの増強」についての議論に資するための情報共有を行いました（資料は前述の通り）。



#### 4.4.5 ローカル5G及びキャリア通信の冗長化検討（追加提案）

ローカル5G網内に映像確認用のシステムを構築し、自動運転車にカメラを7台設置し、カメラからの映像のアップロードを映像受信サーバで受信してローカル5G単体での映像転送の特性を確認しました。システムは、オンプレミスで構築したものを使用し、ローカル5Gの電波状態について、75番スポットにあるRUの電波送出を停止し、冗長系構成を疑似的に構築しました。

##### 4.4.5.1 課題

遠隔型自動運転システムにおいて、車両システム・乗客の状態を見守る上で通信は常に接続されている必要があります。ローカル5Gを導入により通信のパフォーマンスが向上しますが、自動運転の走行中常に安定した接続が担保される保証はありません。

ローカル5Gの通信が不安定/断絶した場合にキャリア通信への切り替えが必要になります。そこでローカル5G、キャリア通信の切り替え、協調に焦点を当て実証について追加提案内容を実施します。

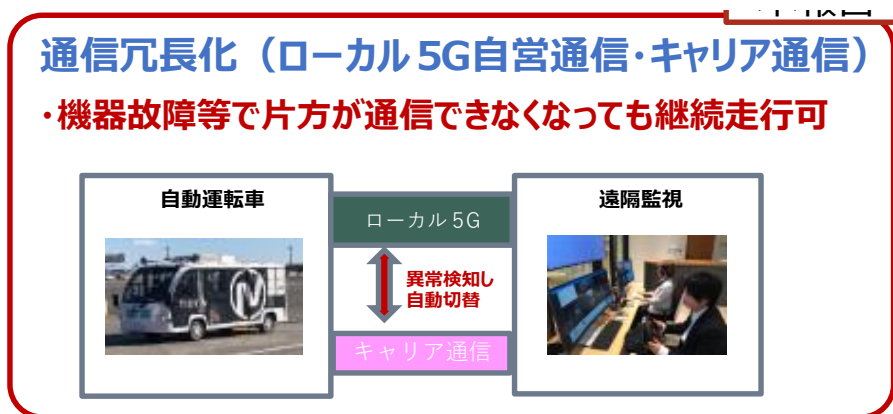
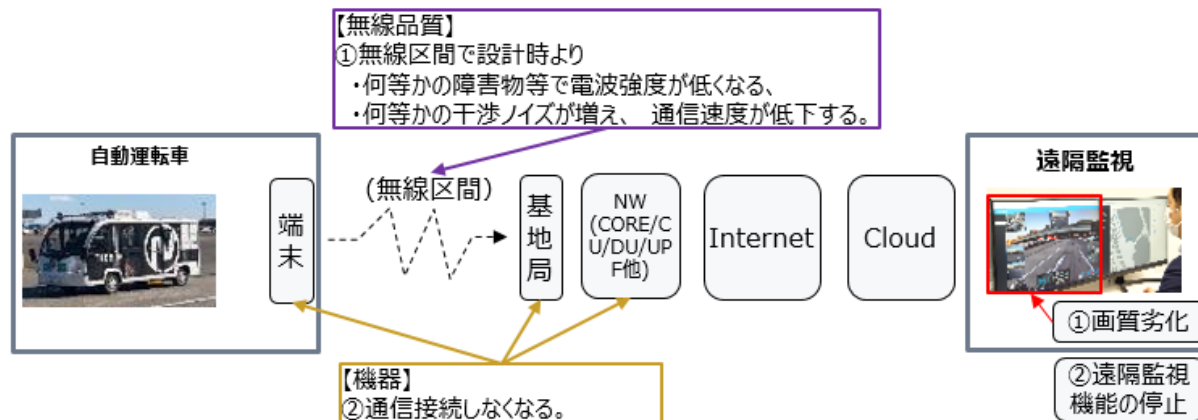


図 4-233 冗長系の考え方

通信失陥の要因として、2種が想定される（①無線伝搬路・②機器類）。このため、各々の要因に対し、本実証では冗長系を組むことで、通信失陥による緊急停止の予防を行い、運用性を高めることを狙うべく、システム構成検討を行いました。

■ 通信失陥した場合、遠隔監視の「①画質低下・②遠隔監視機能停止」で、安全確保のため緊急停止する必要がある。  
 →「①無線伝搬路・②機器類」の冗長化を行い、かつ、遠隔監視を維持する為の**切替手法実装**し、緊急停止の予防を狙う。

従来遠隔型自動運転の  
通信システムと、  
想定される失陥現象



本実証を行う  
遠隔型自動運転の  
通信システム

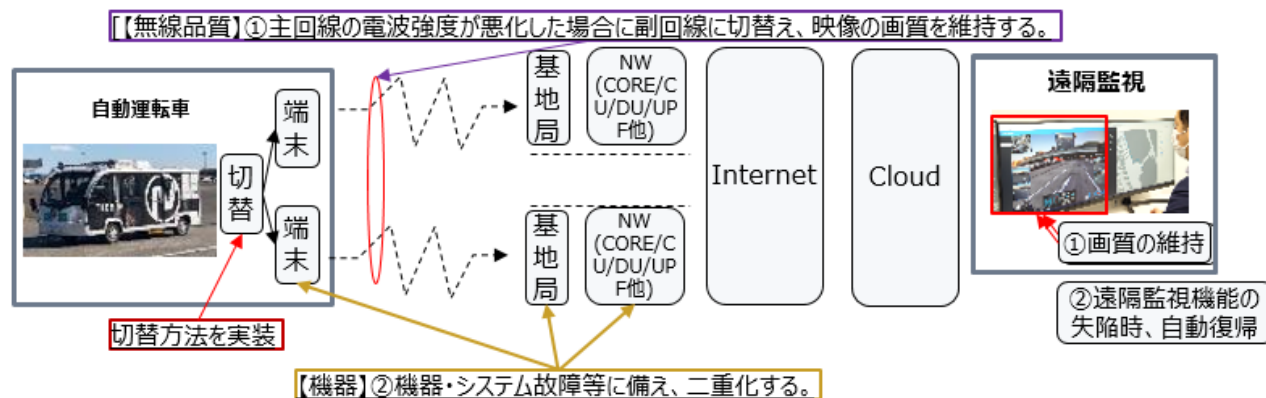


図 4-234 冗長系を要する理由 3

#### 4.4.5.2 解決策

##### (1) 机上検討

ローカル5Gとキャリア通信との協調利用を行うためのシステム構成図を示します。ローカル5Gとキャリア通信の複数回線を協調利用する場合は、同時に2回線に同様のデータを送信し通信が良好な方を利用する同報配信の方法と、通信が安定した方に切り替えて利用する方法の2つがあります。そこで、本提案では図 4-235 ローカル5G/キャリア通信の協調利用案に示す2つの方法を比較しました。

##### 同報配信

- ・メリット  
回線切替時の遅延が小さい
- ・デメリット  
通信量が多い

##### 切り替え配信

- ・メリット  
通信量が少ない
- ・デメリット  
回線切替時の遅延が大きい

それぞれ、同報配信及び切り替え配信のメリット、デメリットはトレードオフの関係になります。リアルタイムな監視/操作が求められる場合は、同報配信が望ましいと思われます。しかし、今回の自動運転システムはレベル4相当であり、基本的に異常が発生した場合は車両が自律して停止挙動をとります。故に、レベル4相当の自動運転システムに対しては遠隔からの介入に時間的猶予があり、回線切替の遅延よりも社会実装に向けた実現性の方が重要です。通信量が多いと多額の通信コストや設備投資が必要になるため、切り替え配信を選択しました。

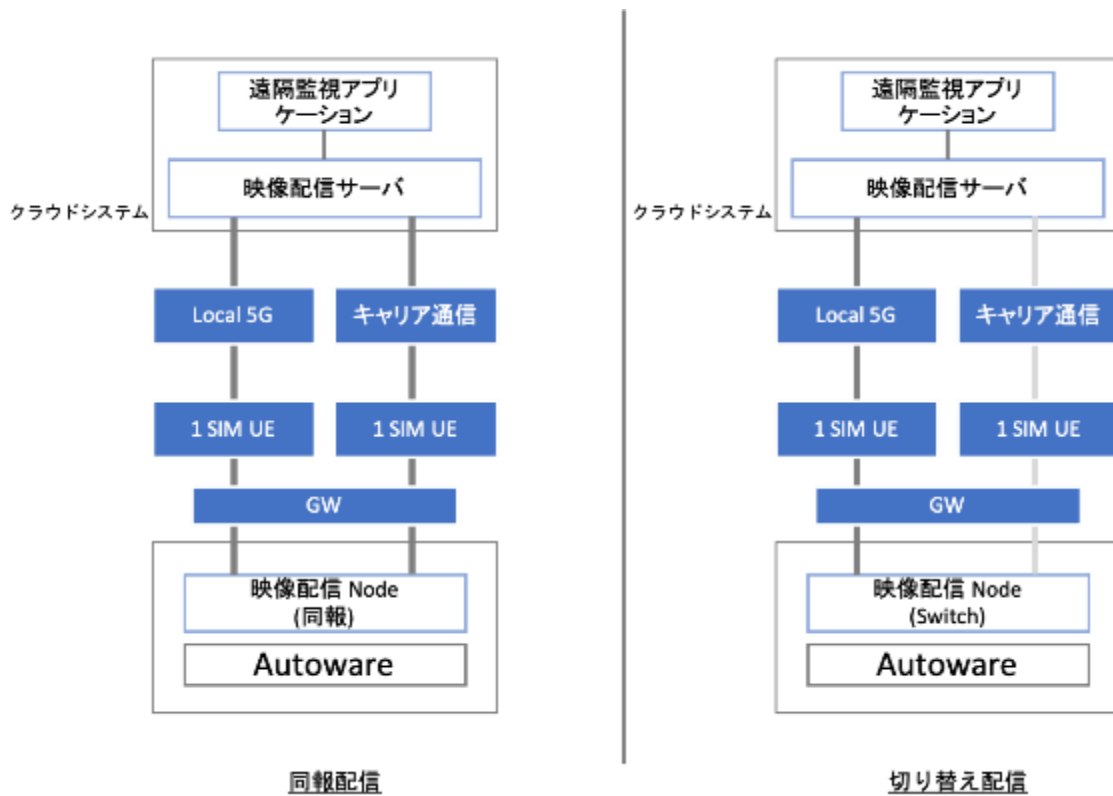


図 4-235 ローカル 5 G/キャリア通信の協調利用案

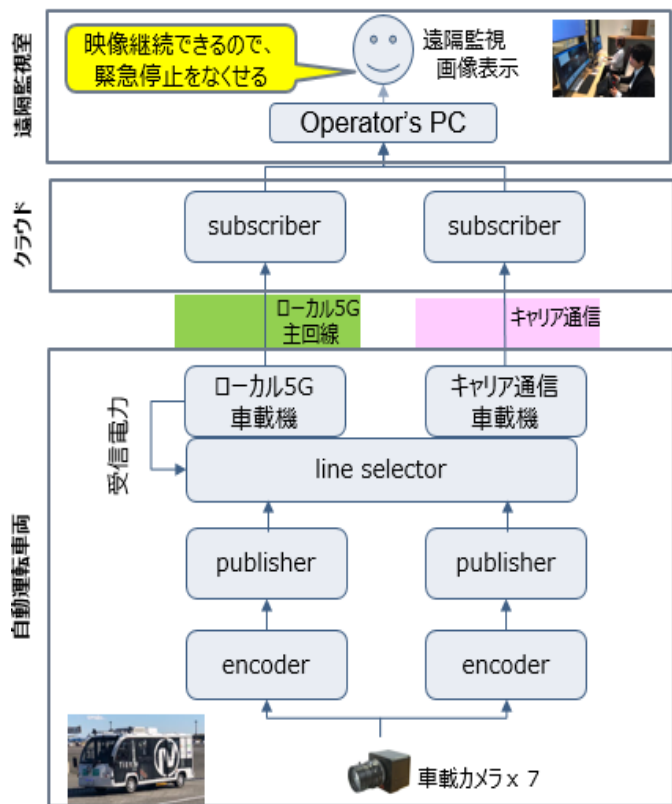
## (2) 実装方式

ローカル 5 G 及びキャリア通信の冗長化を実現する為の実装方式を下記に示します。今回のシステムでは、主回線と副回線を切り替える機構を実装しました。切り替え方法は、ローカル 5 G 及びキャリア通信の電波強度を監視し、閾値を下回った場合は副回線に切り替える方法です。回線を切り替える必要がある場面は 2 種存在します。

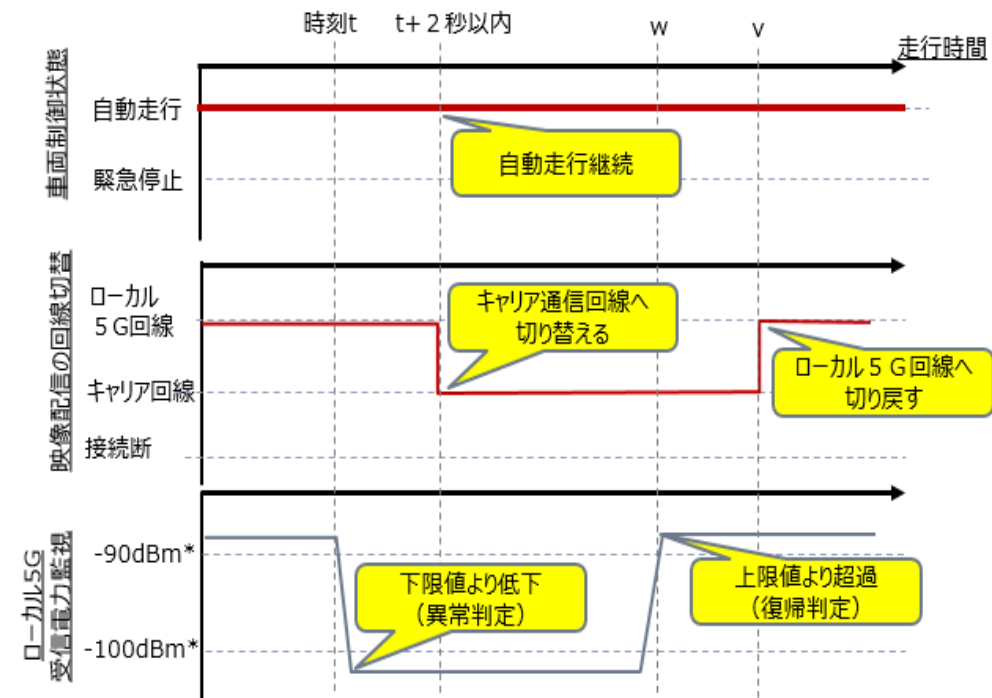
1 つ目は、無線品質が低下し利用している回線の継続利用が困難だと判断した場合です。下図に無線品質低下時の切り替えロジックを示します。図に示した通りに切り替えることで、映像が完全に途切れる前に切り替えが可能となります。[①無線伝搬路]と示します。

■ 冗長系主回線の電波強度を監視し、映像品質劣化する前に切替するので、緊急停止することなく運行を継続できる。

- ・走行ルート内で異常値を観測した際に、ローカル 5 G からキャリア通信へ短時間で切替（2 秒以内）
- ・走行ルート内で通常電波強度に復帰した際、キャリア通信からローカル 5 G へ切り戻す。



本実証の映像系信号の切替方法



\*現場状況にあわせ  
閾値はチューニング実施

受信電力による走行中の映像配信回線切替方法

図 4-236 無線品質低下時の通信切替原理

2つ目は、突然通信が切れてしまった場合です。図 4-237 通信切断時の切替手法 に通信断然時の切り替えロジックを示します。定期的にクラウド側の遠隔システムと疎通確認をし、通信及びシステムが動作していることを確認します。本仕組みがあることで、電波強度が高いが、通信できない場合でも切り替えることが可能になります。[②機器故障]に対しては、通信接続しなくなるので、機器・システム故障等に備え二重化することを狙います。

■ 通信接続が完全に切断されたことを検知した際は、従来は緊急停止し駆けつけ対応をしていたが、冗長化構成とすることで、ローカル5G切断時にキャリア通信に変更し、駆けつけなく遠隔確認で再発進することを狙う。

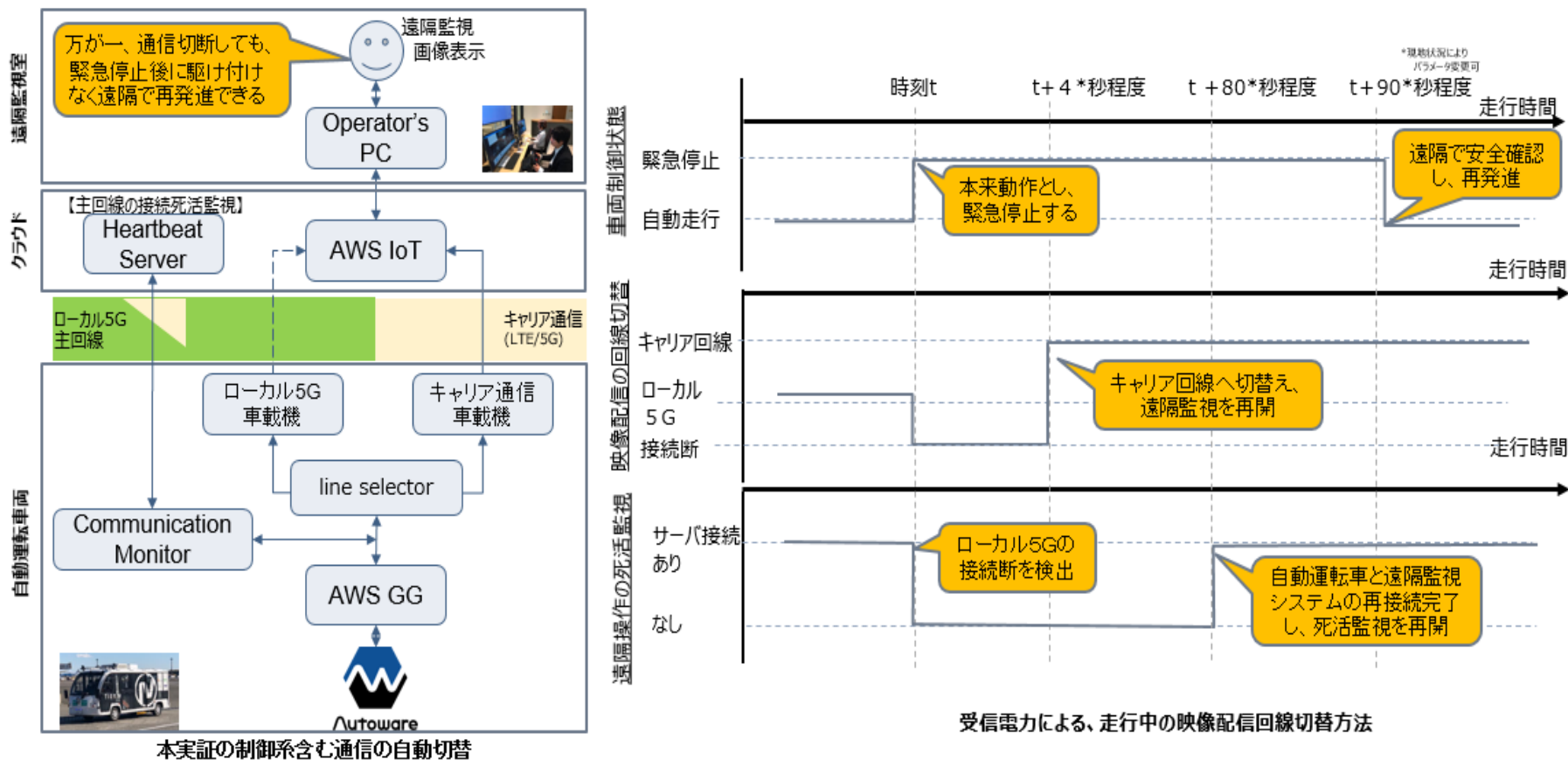


図 4-237 通信切断時の切替手法

#### 4.4.5.3 評価・検証項目

本評価では、ローカル5Gの通信が不安定/断絶した場合に下表の要件を満たすことを確認します。本実証では、自動走行レベル4相当の実現に向け、レベル3相当の自動運転を想定していることから、連続的とみなせる遠隔監視や確認等が可能な切り替え遅延時間として2秒以内を設定します。

表 4-108 ローカル5G/キャリア通信併用時の要求仕様

項目	要求仕様
映像遅延	400msec 以内
画質	フロント画面 HD 画質, その他 VGA 以上
フレームレート	9FPS 以上
回線切り替え遅延	2sec 以内



#### 4.4.5.4 評価・検証方法

本評価では、2つの実際に起こり得る事象をターゲットに置き評価を行います。1つ目は、無線・映像品質が何かしらの影響で劣化した場合に回線を切り替え、映像品質を担保することができるかの評価になります。2つ目は、主回線の無線通信が切断された場合に回線を切り替え、映像品質を担保できるかの評価になります。以下にそれぞれのパターンでの評価方法を記載します。

##### (1) 無線・映像品質劣化の処理

下図で無線・映像品質劣化を再現するための環境を示します。自動運転車両の経路上にて、ローカル5Gの基地局を停波させ、電波環境が悪い空間を再現し、回線切り替え遅延が要求を満たすかの評価を行います。

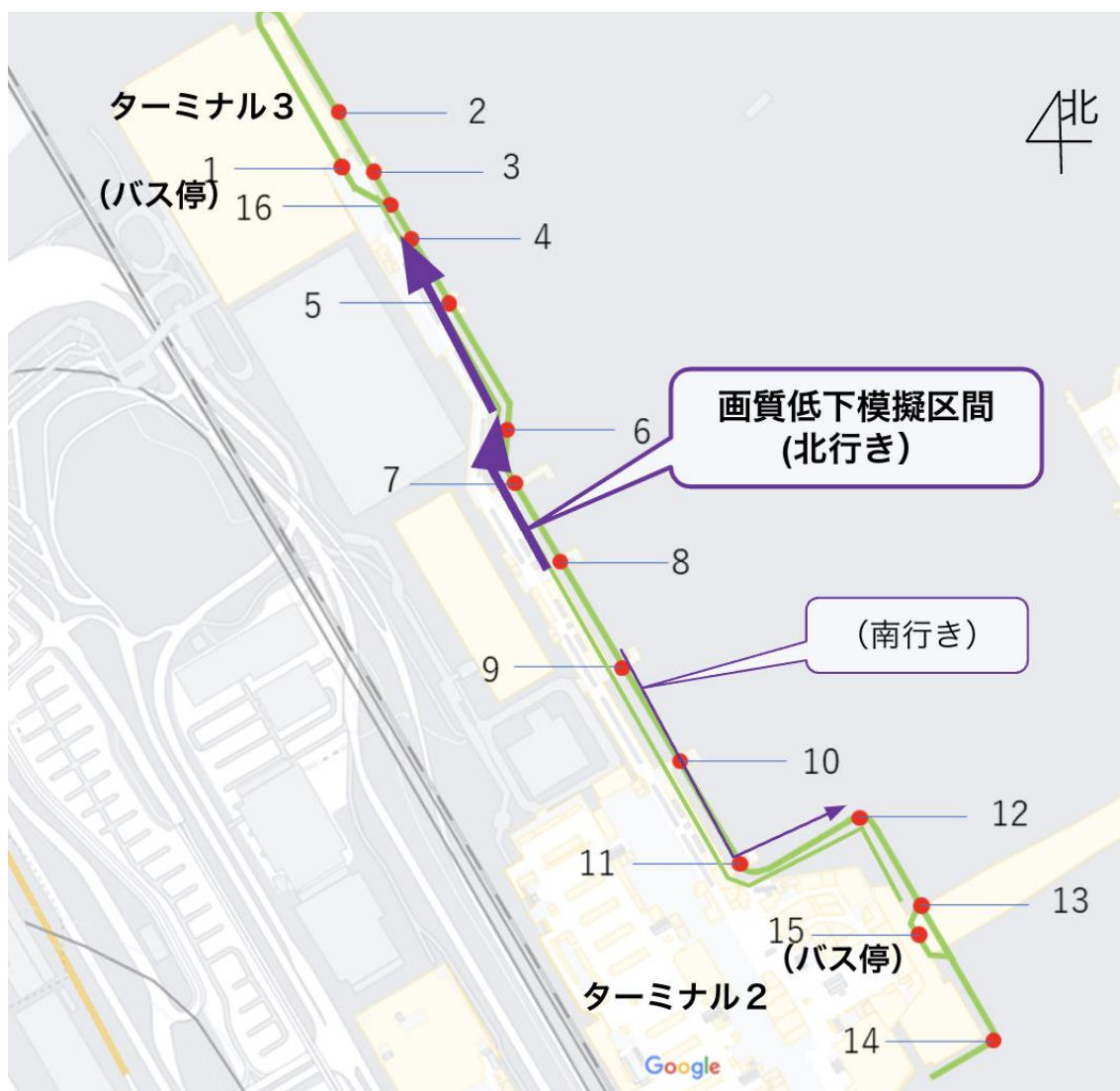


図 4-238 無線・映像品質劣化時の処理評価環境

(2) 無線通信切断

以下に、無線通信切断評価の実施手順を示します。ターミナル3バス停発進後、ローカル5Gの基地局を停波させ、遠隔監視システムが利用している主回線の切断を再現させ、緊急停止・回線切替・復帰の評価を行います。

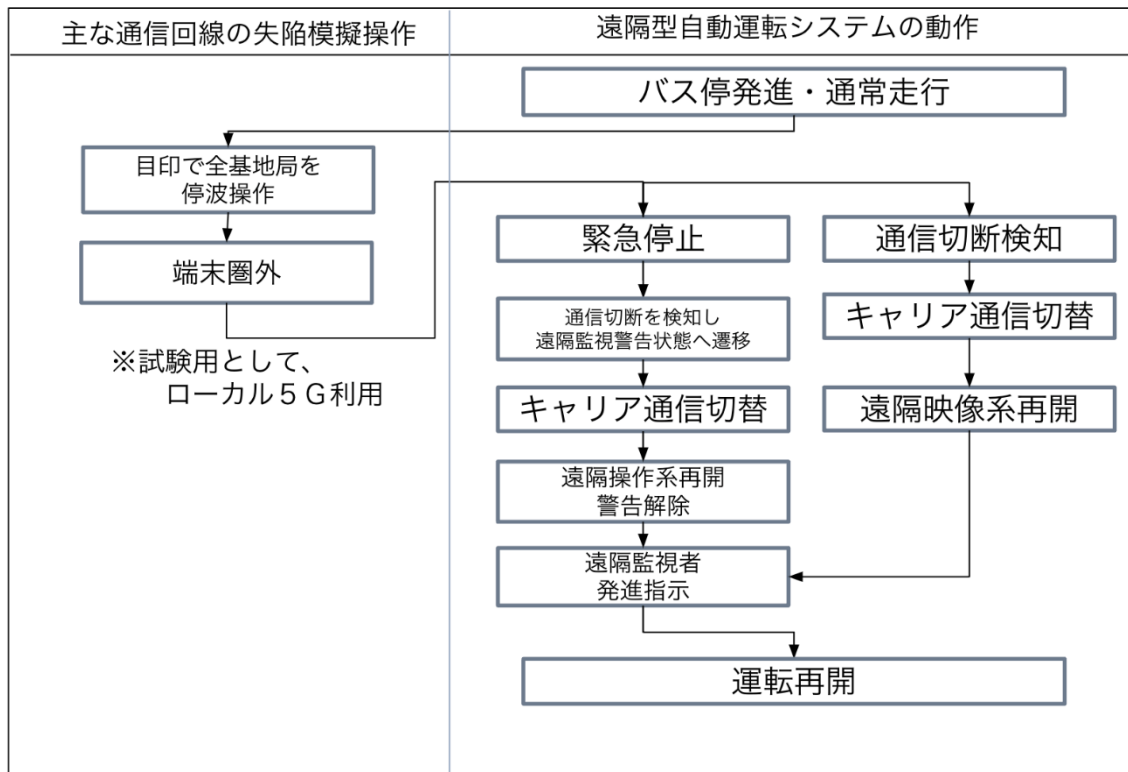


図 4-239 無線通信切断評価手順

(3) 基準試験環境

両回線とも安定した環境下での計測結果は以下です。

表 4-109 実験実施日時における環境計測（スループット計測結果：再掲載）

地点	ランドマーク	UDP アップロード速度 [Mbps]			UDP ダウンロード速度 [Mbps]	
		キャリア	ローカル 5G	判定	キャリア	ローカル 5G
	KPI	35	35		-	-
15	2 ビルバス停	68	71	OK	263	468
13	2 ビルバス停出口	51	105	OK	302	464
12	70 番ランプ交差点 (基地局位置)	42	111	OK	307	872
11	71 番スポット	66	94	OK	321	728
10	72 番スポット	78	66	OK	245	514
9	73 番スポット	79	88	OK	245	814
8	74 番スポット	63	93	OK	326	870
7	75 番スポット (基地局位置)	40	110	OK	320	856
6	71 番スポット先 交差点	34	106	OK	193	858
5	154 番スポット	12	90	OK	73	852
4	153 番スポット	29	115	OK	58	853
16	3 ビルバス停入口	19	114	OK	40	840
1	3 ビルバス停	34	100	OK	57	840
17	3 ビル U ターン	-	90	OK	-	274
2	151 番スポット	15	108	OK	23	514
3	152 番スポット (基地局位置)	11	114	OK	41	492
4	153 番スポット	29	114	OK	58	490
5	154 番スポット	12	114	OK	73	536
6	75 番スポット先 交差点	34	104	OK	193	500
7	75 番スポット (基地局位置)	40	103	OK	320	844
8	74 番スポット	63	111	OK	326	582
9	73 番スポット	79	107	OK	289	430
10	72 番スポット	78	80	OK	245	157
11	71 番スポット	66	73	OK	321	270
12	70 番ランプ交差点 (基地局位置)	42	91	OK	307	366
13	2 ビルバス出口	51	91	OK	302	416
14	2 ビルバス停	15	47	OK	53	300

#### (4) 通信路の失陥模擬試験環境

ローカル5G基地局の中央領域を試験的に停波し、キャリア通信に切り替わる試験環境を構築しました。走行ルート（2ビル→3ビル）区間において、KPI充足するかどうかの確認を行いました。

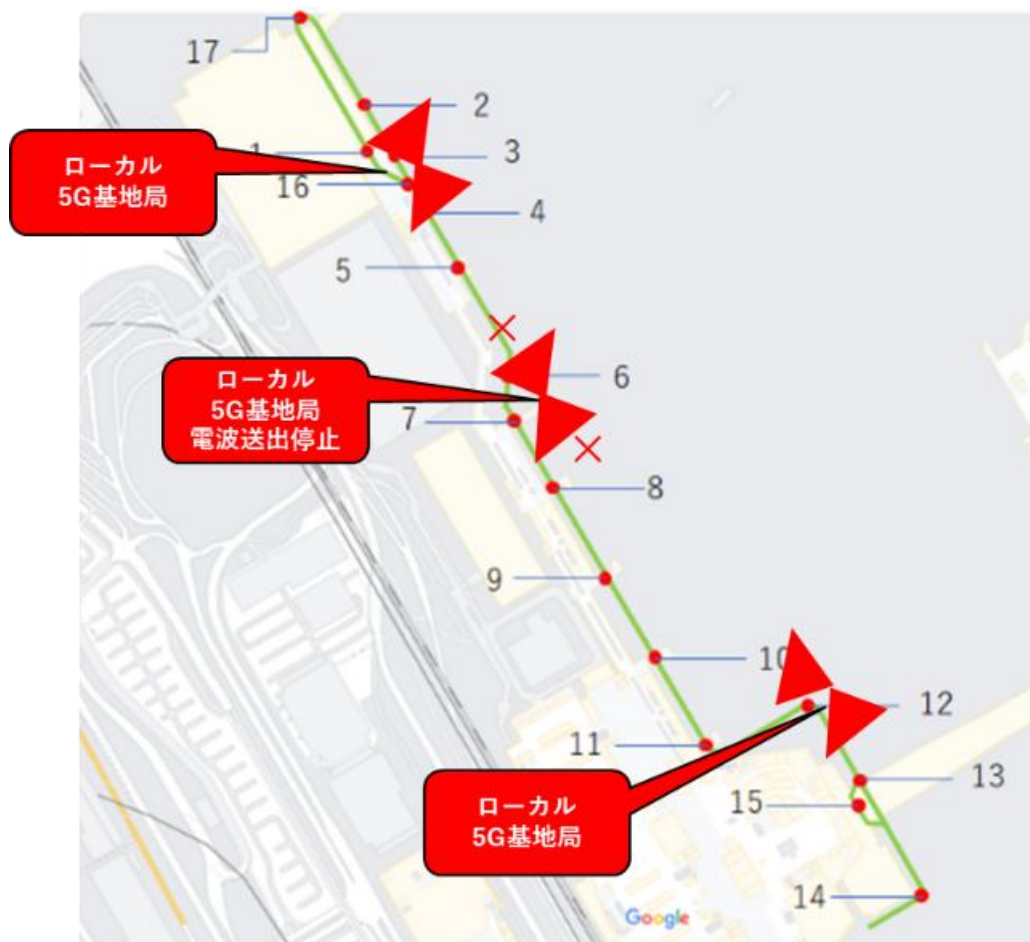


図 4-240 地点7 ローカル5G基地局の試験停波箇所

・試験環境データ（1回目）

駐機状態データは下記のとおりでした。

観測日時 2022/2/25 11:31-11:42

表 4-110 実験実施日時における環境計測（スループット計測結果）

駐機スポット No	71	72	73	74	75	154	153	152	151
駐機有無	×	×	×	×	×	○	○	×	○

凡例：○駐機状態、×：駐機なし

また、受信電界強度(SS-RSRP)、フレームレートを計測し、失陥状態を模擬できているかを確認しました。

フレームレートは、ローカル5G網内に映像確認用のシステムを構築し、自動運転車にカメラを7台設置し、カメラからの映像のアップロードを映像受信サーバで受信してローカル5G単体での映像転送の特性を確認しました。

この結果、-90dBmを下回る地点を8か所設定し、-100dBmを下回る地点も設けられ、所望の試験環境を構築することができました。

表 4-111 通信路の失陥模擬試験環境

地点 番号	ランドマーク	方向	受信電界強度	Frame rate [fps]							失陥模擬 エリア	
			SS-RSRP[dBm]	端末測定値	Cam1	Cam2	Cam3	Cam4	Cam5	Cam6		Cam7
<b>基準値(KPI)</b>				9	9	9	9	9	9	9	9	
<b>判定</b>				OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
15	2ビルバス停	北行	-97	30	29	30	30	29	29	31	○	
13	2ビルバス停出口	北行	-86	31	30	29	30	29	29	30		
12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	北行	-78	31	30	30	30	30	29	31		
11	71番スポット	北行	-80	30	30	30	30	30	29	31		
10	72番スポット	北行	-75	30	31	30	30	30	30	30		
9	73番スポット	北行	-92	29	37	29	30	30	30	29	○	
8	74番スポット	北行	-102	21	31	30	31	29	30	21	○	
7	75番スポット (基地局位置)	北行	-109	15	16	10	5	13	19	14	○	
6	75番スポット先交差点	北行	-89	36	32	28	43	26	31	47		
5	154番スポット	北行	-88	31	30	30	31	29	31	29		
4	153番スポット	北行	-78	31	30	29	31	30	29	30		
16	3ビルバス停入口	北行	-72	30	31	30	29	30	30	29		
1	3ビルバス停	北行	-78	30	30	29	30	30	30	30		
17	3ビルUターン	南行	-84	30	29	30	30	31	30	31		
2	151番スポット	南行	-76	30	30	31	30	29	30	30		
3	152番スポット (基地局位置)	南行	-68	31	30	30	30	30	30	31		
4	153番スポット	南行	-58	31	31	30	30	30	30	29		
5	154番スポット	南行	-67	30	30	29	29	30	29	30		
6	75番スポット先交差点	南行	-67	30	30	29	30	30	30	30		
7	75番スポット (基地局位置)	南行	-94	31	26	31	30	30	30	29		
8	74番スポット	南行	-93	31	35	30	30	30	30	30	○	
9	73番スポット	南行	-105	18	18	30	16	18	24	34	○	
10	72番スポット	南行	-99	22	29	30	25	36	26	35	○	
11	71番スポット	南行	-78	31	32	31	29	29	28	30		
12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	南行	-76	30	31	29	31	30	31	30		
13	2ビルバス停出口	南行	-76	31	31	30	30	30	30	30		
14	2ビルバス停	南行	-92	30	30	29	29	30	31	30	○	

次に、時系列データで確認すると、下記の通りです。

測定したデータからFPSが9fpsになった時間帯は以下の時間帯と確認できました。

- ・ 11:34:03-11:34:18 (北向き 2→3)
- ・ 11:39:42-11:39:51 (南向き 3→2)



図 4-241 走行中における失陥模擬の確認

・試験環境データ（2回目）

駐機状態データは下記のとおりでした。

観測日時 2022/2/25 11:43:36-11:53:20

表 4-112 実験実施日時における環境計測（冗長系環境試験）

駐機スポット No	71	72	73	74	75	154	153	152	151
駐機有無	×	×	×	×	×	○	○	×	○

凡例：○駐機状態、×：駐機なし

また、受信電界強度(SS-RSRP)、フレームレートを計測し、失陥状態を模擬できているかを確認しました。

フレームレートは、ローカル5G網内に映像確認用のシステムを構築し、自動運転車にカメラを7台設置し、カメラからの映像のアップロードを映像受信サーバで受信してローカル5G単体での映像転送の特性を確認しました。

この結果、-90dBmを下回る地点を7か所設定し、-100dBmを下回る地点も設けられ、所望の試験環境を構築することができました。

表 4-113 実験実施日時における環境計測（冗長系環境試験）

地点番号	ランドマーク	方向	受信電界強度		Frame rate [fps]							失陥模擬エリア	
			SS-RSRP[dBm]	UL Throughput [Mbps]	Cam1	Cam2	Cam3	Cam4	Cam5	Cam6	Cam7		
基準値(KPI)				35	9	9	9	9	9	9	9	9	
判定				OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
15	2ビルバス停	北行	-89	71	30	31	32	30	30	30	30	31	
13	2ビルバス停出口	北行	-82	105	30	30	30	30	30	30	30	30	
12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	北行	-74	111	29	29	30	30	29	29	29	29	
11	71番スポット	北行	-81	94	30	31	30	31	31	31	31	28	
10	72番スポット	北行	-76	66	30	30	29	29	30	30	30	29	
9	73番スポット	北行	-97	88	29	24	30	29	30	30	30	29	○
8	74番スポット	北行	-105	93	35	32	30	21	30	29	20	20	○
7	75番スポット (基地局位置)	北行	-110	110	8	20	17	8	17	16	8	8	○
6	75番スポット先交差点	北行	-87	106	29	32	29	30	28	30	29	29	
5	154番スポット	北行	-88	90	29	28	29	30	28	30	30	30	
4	153番スポット	北行	-76	115	30	30	30	30	30	30	30	30	
16	3ビルバス停入口	北行	-68	114	30	29	30	29	30	30	30	30	
1	3ビルバス停	北行	-74	100	30	31	30	28	30	30	30	30	
17	3ビルUターン	南行	-81	90	30	31	30	30	30	30	30	30	
2	151番スポット	南行	-75	108	30	29	30	30	29	30	30	30	
3	152番スポット (基地局位置)	南行	-75	114	31	31	30	30	30	31	31	31	
4	153番スポット	南行	-57	114	31	31	30	31	30	30	30	31	
5	154番スポット	南行	-65	114	30	32	30	31	31	31	31	30	
6	75番スポット先交差点	南行	-66	104	31	28	30	31	31	30	30	31	
7	75番スポット (基地局位置)	南行	-91	103	31	24	30	30	30	30	30	28	
8	74番スポット	南行	-91	111	31	33	30	30	30	30	30	21	○
9	73番スポット	南行	-105	107	27	19	36	25	30	17	25	25	○
10	72番スポット	南行	-97	80	21	21	20	23	31	30	34	34	○
11	71番スポット	南行	-80	73	30	33	31	30	29	30	30	30	
12	70番ランプ交差点 (基地局位置)	南行	-79	91	30	30	30	29	30	30	30	30	
13	2ビルバス停出口	南行	-72	91	30	31	31	29	30	30	30	30	
14	2ビルバス停	南行	-91	47	30	31	30	30	29	29	32	32	○



測定したデータから FPS が 9fps になった時間帯は以下の時間帯と確認できた。

11:45:47-11:45:56 (北向き走行 2ビル→3ビル)

11:51:20-11:50:41 (南向き走行 3ビル→2ビル)

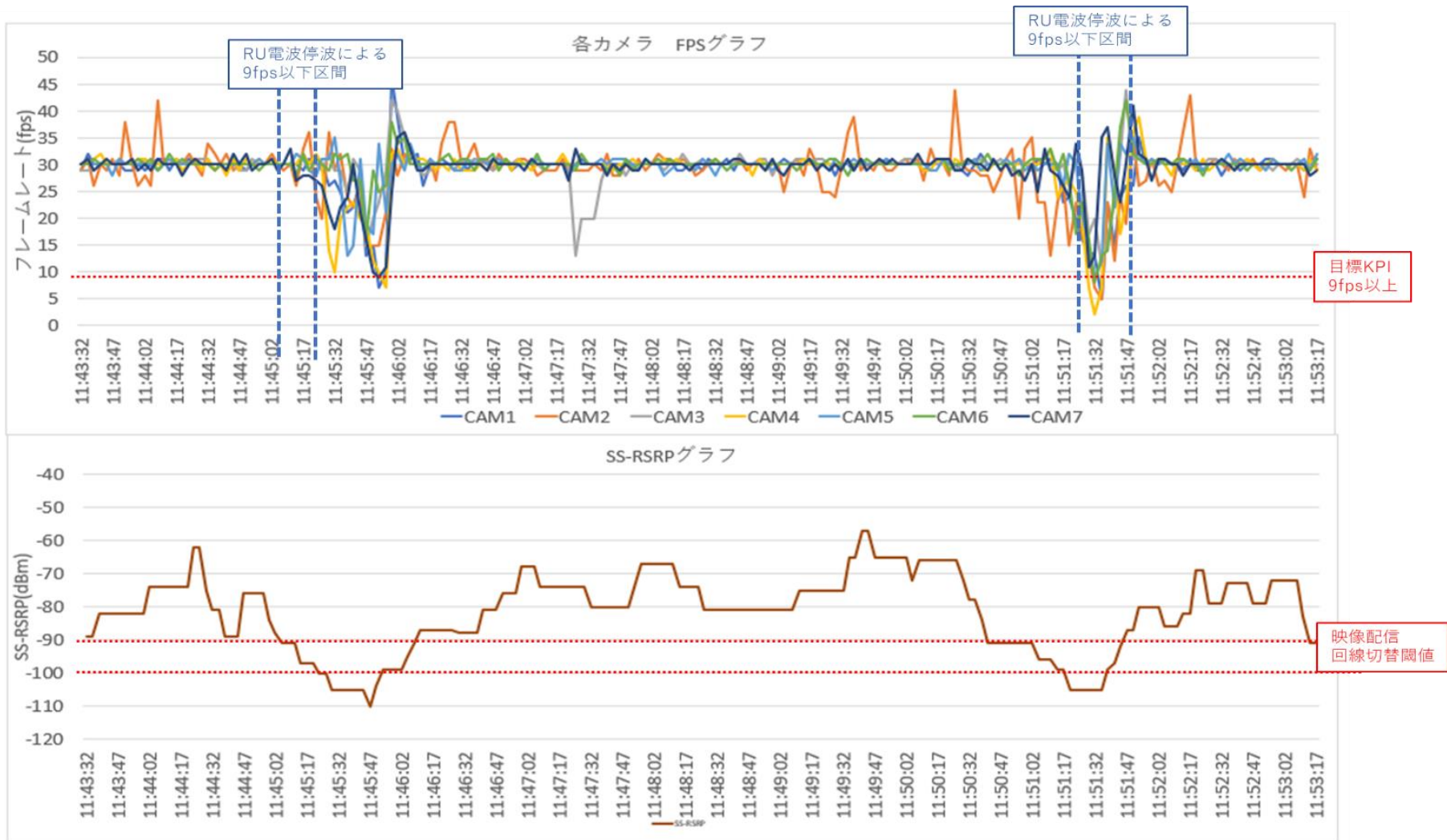


図 4-4-242 走行中における失陥模擬の確認

#### 4.4.5.5 アウトプット

評価方法にて評価した結果を以下に示します。

##### (1) 無線・映像品質劣化の処理

無線・映像品質劣化時の回線切り替え評価を示します。評価した結果、切り替え時間、映像遅延、画質（解像度）、フレームレートの全項目にて、要求を満たしました。本評価にて、ローカル5Gとキャリア通信を併用し、冗長構成を組むことで、より安定した運用を実現できることがわかりました。

表 4-114 無線・映像品質劣化時の回線切り替え評価結果

地点番号	切替時間 [sec]	映像遅延 [sec]	画質 (解像度)	フレームレート [frame/sec]
9	0.378	0.386	HD	24
6	0.468	0.370	HD	25
6	0.633	0.253	HD	21
10	0.368	0.347	HD	22

## (2) 無線通信切断

無線通信切断時の回線の切り替え、MRM(Minimum Risk Manuvor)による安全停車の動作結果、復帰時間の結果を示します。設計時の想定通り動作することを確認しました。復帰時間に関しても、オペレーターが実際に現場に駆けつけるよりも早く復旧作業が行えることが確認できました。本評価を通し、ローカル5G及びキャリア通信を併用し、冗長化することで通信が切断されてしまうような事態になっても、安全かつ安定した運用を実現できることがわかりました。

表 4-115 無線切断時の回線切り替え・復帰時間結果

試行回数	通信途絶時の安全停車	映像配信の再開	復帰時間 [sec]
1回目	OK	OK	84.6
2回目	OK	OK	75.1
3回目	OK	OK	75.0
4回目	OK	OK	75.7
5回目	OK	OK	75.0

## 5. 普及啓発活動の実施

### 5.1 5Gソリューション提供センター(仮称)における提供モデル

本実証で開発しましたアプリケーションは複数の伝送路が接続された移動体映像ストリーミング装置において、伝送路の品質に基づいてストリーミングの伝送に使用する経路を選択させることを特徴とするシステムです。ティアフォー社の既存システムである自動運転の Auto ware に組み込まれているため、汎用性がなく 5G ソリューション提供センターへの参画は難しいと考えています。5G ソリューション提供センターで活用する場合、遠隔監視システム単体での提供ではなく、Web.Auto でのサービス提供になるため、自動運転車両と共に使用する必要があります。また、冗長構成を実施するためには 2 つ以上の通信回線が必要とされ、尚且それらの回線は高速かつ安定した通信であることが望まれます。本システムを提供する際には、ローカル 5G・キャリア 5G の通信環境の構築並びに、運用が必要とされるため、通信環境の構築と利用・運用含めてサポート可能なビジネススキームが望まれると考えます。

本実証の代表機関である東日本電信電話株式会社としては 5G ソリューション提供センターにおける提供機能、具体的なアーキテクチャを踏まえ、ネットワーク提供者として参加意向はございます。

### 5.2 映像制作への協力

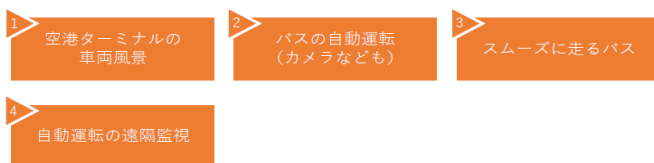
今後のローカル 5G の普及を推進する観点から、三菱総合研究所様が制作する本事業の映像制作に協力し、本コンソーシアムメンバーも今後ローカル 5G を普及させるためのモデルの創出に向けて、各種映像の提供・コメントの作成等を行いました。

代表機関グループ会社 (NTT ラーニングシステムズ(株)等) と連携し、より品質の高い映像コンテンツを目標とし、「**図 5-1 課題解決型ローカル 5G 開発実証動画撮影依頼書**」に則り以下のとおり 2022/2/3 に撮影致しております。

【9.東日本電信電話株式会社】 空港における遠隔監視型自動運転に向けた通信冗長化設計による映像監視技術の実現

- ・カメラは、デジタルムービーカメラもしくはiphoneをご使用ください。
- ・動画サイズはフルHDの1920×1080以上、iphoneの場合は4K/30fps（4K撮影が難しいようでしたら1080p/30fps）をお願い致します。
- ・画角は「横長」をお願い致します。（iphoneで撮影する際に「縦」で撮影しないようご注意ください。）
- ・関係者以外の方が映らないようお願い致します。  
（肖像権上、映像の使用に許可が必要になる為です。映り込みが避けられない場合は、ぼかしを入れる等の対応をさせていただきます。）
- ・撮影時は、三脚などで、カメラ(iphone)を固定して頂き、手ブレの無いようお願い致します。
- ・暗い場所で撮影を行うと映像にノイズが入る可能性がありますので、できるだけ明るい状況での撮影をお願い致します。
- ・撮影の始まりと終わりは数秒の余裕を持って、1素材につき10秒以上撮影するようお願い致します。
- ・アクションがある場合は2テイク以上の撮影をお願い致します。
- ・音声も使用する可能性がございますので、撮影時は、会話はお控え下さいますようお願い致します。

【下記の撮影をお願い致します。】



【撮影時のアングルについての注意点】



・赤色の部分はタイトルが常に入りますので「中央やや上」のあたりに撮影するモノがくるようお願い致します。

撮影についてのご相談・ご確認はこちらまでお問合せください。  
 (株)二番工房 赤羽 電話：080-8410-4538 メール：akapane@niban.co.jp

図 5-1 課題解決型ローカル5G 開発実証動画撮影依頼書

表 5-1 撮影内容

撮影コンテンツ	具体的な撮影内容
空港ターミナルの車両風景	本実証で使用した株式会社ティアフォーが提供した自動運転バスが空港内に停留している様子を第3ターミナル停留場にて撮影
バスの自動運転（カメラなども）	遠隔監視システムと連動する自動運転バスに設置してあるカメラ、センサー及びUEの設置状況を撮影（車内は撮影不可）
スムーズに走るバス	バス停留場からの発進シーン及び第3ターミナルから第2ターミナルへ運行している様子を撮影
自動運転の遠隔監視	自動運転バス運行中の状況を遠隔監視している様子を撮影

映像の提供においては、以下①から④の項目（図 5-2 から図 5-5）について実施しました。

① 車両風景



図 5-2 車両風景 (第3ターミナルバス停留場)

② バスの自動運転 (カメラなども)



図 5-3 監視カメラ状況

③ スムーズに走るバス



図 5-4 第 3 ターミナルバス停留場から第 2 ターミナル 70 番ゲートへ走行

④ 遠隔監視シーン



図 5-5 遠隔監視状況



### 5.3 実証視察会の実施

ローカル5Gを導入し地域・企業の課題を解決していくことに関心を持つ自治体・企業等に対し、本実証における背景・課題・実証内容・成果を説明することで、地域・企業のローカル5G導入検討の一助になることを目的とし、実証視察会を2月22日にオンラインで実施しました。

特に、これからローカル5Gの導入を検討する企業にとっては、現時点で目に見える形でのユースケースが少ないことから、本実証を視察することで具体的なユースケースをイメージして頂くことで検討の促進をはかりました。

実証視察会においては、以下の要領「表5-2：オンライン視察会について」で開催しました。

表 5-2 オンライン視察会について

項目	内容
開催日	令和4年2月22日
コンテンツ	<ul style="list-style-type: none"><li>・コンソーシアムの紹介</li><li>・プレゼン資料によるプロジェクトの説明 説明内容：実証事業の背景<ol style="list-style-type: none"><li>① 実証概要の説明</li><li>② 動画視聴</li><li>③ 技術実証について</li><li>④ 課題実証について</li></ol></li><li>・質疑応答・意見交換</li></ul>
開催方法	オンライン (Teams)
参加者	<ul style="list-style-type: none"><li>・ローカル5G導入を検討しているユーザ企業、ベンダ等</li><li>・関係省庁等の出先機関（事業所管省庁）</li><li>・総務省、総合通信局等</li></ul>

### 5.4 その他普及啓発活動

本実証内容をコンソーシアム代表機関等ホームページにて報道発表を実施するとともに、各種講演会や媒体（Web・新聞等）を通じて広く普及啓発稼働を実施しました。

また、普及啓発活動や情報発信にあたっては、事前に総務省様、三菱総合研究所様と発表内容等の確認を行うことで相互に齟齬の無いよう努めた上で、正確な内容を持ってローカル5Gの普及を目指した活動、発信を実施しました。

以下に、「令和3年度 地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」に関係した主な普及啓発活動（表5-2 普及啓発活動実績）を示します。

表 5-3 普及啓発活動実績

日付	内容
2021/9/22	国交省航空局の第9回(第1回)空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会で当実証を報告 <a href="https://www.mlit.go.jp/common/001425248.pdf">https://www.mlit.go.jp/common/001425248.pdf</a>
2021/9/30	成田空港定例会見に当実証を発表
2021/12/2	NISA(一般社団法人 長野県情報サービス振興協会)オンラインセミナー「ローカル5G等自営無線が切り開く地方創生」にて案件概要を紹介 <a href="http://www.nisa.or.jp/pdf/nisa_seminar_20211202.pdf">http://www.nisa.or.jp/pdf/nisa_seminar_20211202.pdf</a>
2021/12/16	国交省航空局の第10回(第2回)空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会に参加 <a href="https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk9_000055.html">https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk9_000055.html</a>
2021/12/20	通建会社社長会に当実証を発表(NTTグループの電気通信工事委託先会社との会合)
2022/1/24	NTT 東日本ソリューションフォーラム 2022 にて当実証を発表
2022/2/10	コンソーシアムメンバー4社にてプレスリリース発表(図 5-3-1) (成田国際空港 HP) <a href="https://www.naa.jp/jp/">https://www.naa.jp/jp/</a> (NTT 東日本 HP) <a href="https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20220210_01.html">https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20220210_01.html</a> (ティアフォーHP) <a href="https://tier4.jp/media/news/">https://tier4.jp/media/news/</a> (KDDI HP) <a href="https://www.kddi.com/corporate/newsrelease/2022/">https://www.kddi.com/corporate/newsrelease/2022/</a> また、各媒体にて報道資料を以下①から④で掲載しています。

2022年2月10日



東日本電信電話株式会社  
株式会社ティアフォー  
KDDI 株式会社  
成田国際空港株式会社

## 国内空港初<sup>※1</sup>、成田国際空港でローカル 5G<sup>※2</sup> 等を 活用した自動運転バス実証を実施

～労働人口減少等に対応した無人自動運転サービスの実装を目指す～



図 1 : 自動運転車両



図 2 : 遠隔監視室

東日本電信電話株式会社(代表取締役社長：井上 福造、以下「NTT 東日本」)、株式会社ティアフォー(代表取締役社長：武田 一哉、以下「ティアフォー」)、KDDI 株式会社(代表取締役社長：高橋 誠、以下「KDDI」)、成田国際空港株式会社(代表取締役社長：田村 明比古、以下「NAA」)は、4 社合同で国土交通省航空局主催「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」における自動運転レベル 4 相当<sup>※3</sup>の導入に向けた実証実験の枠組み及び総務省「令和 3 年度課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」に参画しました。4 社は 2022 年 2 月 14 日から 2022 年 2 月 28 日の間、国内空港で初めて、ローカル 5G 及びキャリア通信<sup>※4</sup>を活用した成田国際空港制限区域内における遠隔監視型自動走行バスの実証実験を行うこととなりましたので、お知らせいたします。

### 1. 取り組みの背景

現在の日本の交通インフラにおける社会的課題として少子高齢化の急速な進行による労働人口減少があります。労働人口減少に伴い、様々な移動・物流サービスの担い手が不足することが危惧されており、空港運用においても同様の課題を抱えています。その解決策の一つとして自動運転技術が注目されているところであり、成田国際空港において自動

図 5-6 コンソーシアムメンバー4 社にてプレスリリース発表 (1)

運転レベル4相当の導入に向けた実証実験を行い、人手不足への対応や、ヒューマンエラーに起因する車両事故リスクの軽減を目的とした自動運転技術の導入を目指します。

## 2. 実証概要

今回の実証実験では、自動運転車両「GSM8」<sup>※5</sup>を用いて、成田国際空港制限区域内を自動走行(ドライバー有り)し、制限区域内の実装に向けて課題抽出を行います。また、複数の車載カメラ映像を用いた遠隔監視等のための通信インフラとして、ローカル5G及びキャリア通信による冗長化を行い、本構成における遠隔監視等の技術的な検証を行います。

## 3. コンソーシアム各社の役割

NTT 東日本	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 総務省「令和3年度課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」におけるプロジェクト管理</li> <li>・ ローカル5G通信環境の構築、技術検証、性能評価</li> <li>・ ローカル5Gを活用した自動運転の実現性評価 等</li> </ul>
ティアフォー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 国土交通省航空局主催「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」におけるプロジェクト管理</li> <li>・ 自動運転車両提供</li> <li>・ 自動運転システム、遠隔監視システムの開発、実証評価</li> <li>・ 無線冗長システムの開発及び実証評価 等</li> </ul>
KDDI	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ キャリア通信(5G及び4G)提供</li> <li>・ 遠隔監視におけるキャリア通信のデータ収集や解析及び品質調査 等</li> </ul>
NAA	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実証フィールドの提供</li> <li>・ 空港における課題抽出、実証評価 等</li> </ul>

## 4. 今後の展開について

国土交通省航空局の企図する2025年レベル4相当自動運転の実現に向けては、「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」において本実証の成果報告を行い、制限区域内での自動走行のルール策定に貢献します。また、ローカル5G等を活用して成田国際空港へのレベル4相当自動運転の実装や他空港への普及展開につなげることを目指します。

## 5. その他

国土交通省航空局主催「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」

[https://www.mlit.go.jp/koku/koku\\_tk9\\_000023.html](https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk9_000023.html)

総務省「令和3年度課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」

[https://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/01ryutsu06\\_02000296.html](https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01ryutsu06_02000296.html)

※1…NTT東日本、ティアフォー、KDDI、NAA調べ(ローカル5Gとキャリア通信を活用する空港制限区域内の自動運転実証実験として初であることを国土交通省航空局主催「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」公表資料等を元に独自に調査)

図 5-6 コンソーシアムメンバー4社にてプレスリリース発表(2)

※3…自動運転においては、各レベルに応じた運転タスクの主体や走行領域が設定されている。航空局主催「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」にて、空港における「自動運転レベル4相当」の定義（案）として、「自動運転車両の走行車両開発事業者、運行事業者、空港管理者等の関係者間で合意した限定領域（ODD）を前提として、運転者が介在せずに対応可能なシステム」とされている。

※4…電気通信事業者が提供する携帯電話等の電気通信サービス

※5…タジマモーターコーポレーション社製車両をベースにティアフォー社の自動運転システムを活用

<ローカル 5G について(NTT 東日本の取り組み)>

<https://business.ntt-east.co.jp/solution/local5g/>



<キャリア通信について>

<https://www.au.com/mobile/area/>



図 5-6 コンソーシアムメンバー4 社にてプレスリリース発表（3）

① 媒体：TV

NHK おはよう日本「高速・大容量通信 5G 活用 空港でバス自動運転目指す」

※以下、放映映像抜粋

**5:18** 前橋 6-12時 60% 12-18時 70%

**実証実験**  
自動運転バスを  
高速・大容量通信5Gを使い運行

**5:19** 水戸 6時 2c, 9時 3c, 12時 5c, 15時 4c, 18時 3c

**実証実験**  
成田空港運営会社・NTT東日本・KDDI  
ベンチャー企業ティアフォー

**5:19** 東京 6時 4c, 9時 3c, 12時 3c, 15時 2c, 18時 2c

**イメージ**

**カメラ映像リアルタイムで送る**

連絡バス → 5G → 監視センター

**遠隔でバスを操作**

**Check** NHKG  
おはよう日本

新型コロナウイルス感染者  
世界全体で4億人超

高速・大容量通信5G活用  
空港でバス自動運転目指す

「住友林業」社員自殺  
長時間労働などが原因

大相撲 新型コロナ感染  
初場所後累計252人

② 媒体：新聞

日本経済新聞  
2022/2/12 P.13

**空港で自動運転バスの実証実験**  
NTT東日本やKDDIなど4社は10日、高速通信規格「5G」を活用した自動運転バスの実証実験を成田空港で14日に始めると発表した。バスに設置したカメラやセンサーの映像を、遅延の少ない通信でやりとりする。

日本経済新聞 地方経済面 千葉  
2022/2/15

成田空港内での自動運転バスの実証実験に使われる車両



## 成田空港で自動運転バス

### ローカル5G活用 NTT東など実験

NTT東日本やKDDIから5Gによりほりアスを自動運転で走らせ、成田国際空港会社（Nルタイムで送られる高精細な画像などを空港内で運用する。作業車両が行き交うA.A）などは14日、空港内での自動運転バスの実証実験を始めた。タ2・第3ターミナルを結ぶ運用面の課題を探る。21ミナル間を結び28日までに走る連絡バスの路線025年までに空港内で実施する。車載カメラの一部に実験用の小型バスの自動運転バスの導入を

目指す。  
実証実験は国土交通省航空局が主導。今後の運転手不足をにらみ、空港内での自動運転の活用につなげる。自動運転システムのティアフォー（名古屋）が車両提供や運転システムを担当。KDDIが携帯通信向け5G、NTT東がローカル5Gを提供する。

# 成田空港 自動運転バスの実証開始

## NAなど4社が14〜28日

NA成田国際空港社（田村明彦社長）はNTT東日本（ローカルG）、ティアエアー（自動運転）、KPI（ギヤリテック）の4社合同で成田空港の制限区域のターミナル連絡バスの自動運転（電走）の実証実験を

開始した。ローカルG（企業をい）が自社の機内や敷地内でスポット的に柔軟に構築できる「ひびく」をキャリテック（無線電話など）を併用し、電走車として運用する。実証実験はタシエマエコーボーション社が車両を、ティアエアーの自動運転システムを搭載した「S-N」を使用し、乗車定員は8人。成田空港の制限区域内を自動走行（ドライバーが乗車）し、複数の車線が交差する際はいきまの遠隔監視システムから遠隔監視する。ローカルGとギヤリテックは通信の通信システムの役割を担う。

システムを構成する4社は国土交通省航空局

が主催する「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」の自動運転レベル4相当の導入に向けた実証実験の枠組みと、総務省の「2021年度課題解決型ローカルG等の実現に向けた開発実証」に参画している。

今回の実証実験の成果は国土交通省の航空委員会に報告し、制限区域内での自動走行レベル4相当の貢献するともに、成田港へのレベル4相当自動運転の実装や他港への普及展開につなげる。

自動運転は一般車両との混在交通が主な課題となる。制限エリアから乗客は出る可能性が高いとされている。実証実験では制限区域内での自己位置推定の精度、空港内ルールを順守したレベル4相当の自動運転、走行中の遠隔監視装置などを検証するほか、空港関係者の自動運転に対する理解や要請などを確認する。

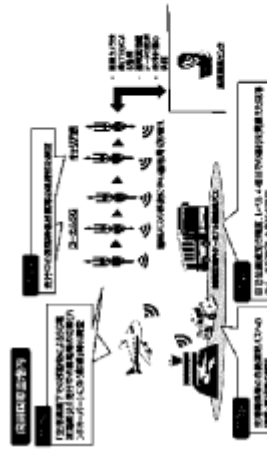
また、日本の交通システムは少子高齢化の進展や高齢による労働人口の減少に伴い、移動・物流システム

の担い手不足が危惧されており、その解決策の一つとして自動運転技術が注目されている。NAは今月末の対応やヒューマンエラーに起因する事故リスクの軽減を目的に、成田空港への自動運転レベル4相当の導入を加速させる。



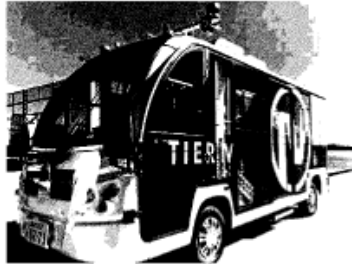
自動運転車両

### 実証実験のイメージ





実証実験で使用する自動走行バス



28日まで実施する。自動運

### 5Gとキャリア通信で自動運転バスを遠隔監視

#### ティアフォー 成田空港で実証実験

成田空港の制限区域内で、京都中野区)製の小型バス「GS M8」に、ティアフォーの自動運転システムを搭載した車両を使用する。複数の車載カメラ映像を使って遠隔監視するための通信インフラとして、ローカル5Gとキャリア通信によって冗長化し、遠隔監視技術も検証する。

4社は2025年にドライバーが無人のモビリティサービスの普及に向けて協業している。

ティアフォー(武田一哉社長、名古屋市守山区)、NTT東日本、KDDI、成田国際空港(田村明比古社長、千葉県成田市)は、ローカル5G(第5世代移動通信システム)とキャリア通信を使って自動運転バスを遠隔監視・操作する実証実験を開始したと発表した。伸博会長兼社長CEO、東

転レベル4(限定エリアでの完全自動運転)相当の技術を空港制限区域で実証すること、ドライバー不足への対応や、ヒューマンエラーに起因する事故リスク軽減を図る。

実証実験はタジマモーターコーポレーション(田嶋

実験に使用する自動運転車両



### 5G活用の自動運転バス実証

#### NTT東、KDDIと成田空港内で開始

NTT東日本とKDDI、自動運転システム開発のティアフォー(名古屋市中村区)、成田国際空港(NTA)の4社が、14日から高速・大容量通信の5Gを活用した空港内

での自動運転バス実証実験を開始した。空港では地上支援業務での労働力不足が深刻化しており、国土交通省は業務の省力化・自動化に向け2025年までに空港内における自動運転レベル4(特定条件下での完全自動運転)相当の導入を目指している。今回実証実験はその取り組みの一環だ。

実験ではティアフォーの自動運転システムを活用した車両「GS M8」を用いて、成田国際空港制限区域内の

車道道路(第2ターミナルから第3ターミナル)を自動走行し、実装に向けた課題抽出を行う。

また、複数の車載カメラ映像を用いた遠隔監視のための通信インフラとして、ローカル5Gとキャリア通信(5G/4G)による冗長化を実施。そのネットワーク構成における車両遠隔監視などの技術的検証を行う。

ローカル5G通信環境の構築および技術検証はNTT東日本が担当。KDDIはキャリア通信を提供する。実証実験は28日までの2週間行われる予定だ。

## 空港で5G自動運転実証



NTT東日本やKDDIなど4社は5Gを活用した自動運転バスの実証を始める

NTT東日本やKDDIなど4社はこのほど、高速通信規格「5G」を活用した自動運転バスの実証を成田国際空港で始めた。バスに設置したカメラやセンサーの映像を、遅延の少ない通信でやりとりする。伝送技術の安定性などを検証する。自動運転を巡る分野で、競合する通信大手2社の連携は珍しい。2025年をめどに、空港

への自動運転バスの導入をめざす。

実証は28日まで成田空港で実施する。バスは第2ターミナルと第3ターミナルの間の決められたルートを自動で走る。車両にはカメラやセンサーを設置。高精度な映像を5G通信でほぼリアルタイムで伝送し、緊急時には遠隔で操作する。

KDDIが携帯通信向けの5Gを手がける。NTT東は限定した地域で、5Gの通信環境を整備できる「ローカル5G」を提供する。

自動運転システム開発のティアフォー（名古屋市）が、バスの運行管理システムを担う。成田国際空港会社（NAA）が実証環境を提供する。

4社は実証を通じて、技術面の課題を検証し、自動走行のルール作りにつなげる方針だ。

③ 媒体 : Web

2022/2/10 16:38

**日経電子版©NTT東日本やKDDI、空港で自動運転を実証実験 5G活用**

<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC1061V0Q2A210C2000000/>

NTT東日本やKDDIなど4社は10日、高速通信規格「5G」を活用した自動運転バスの実証を成田空港で14日に始めると発表した。バスに設置したカメラやセンサーの映像を、遅延の少ない通信でやりとりする。伝送技術の安定性などを検証する。

自動運転を巡る分野で、競合する通信大手2社による連携は珍しい。2025年をめどに空港への自動運転バスの導入を目指す。

実証は14～28日に成田空港で実施する。バスは第2ターミナルと第3ターミナルの間の決められたルートを自動で走る。車両にはカメラやセンサーを設置。高精細な映像を5G通信でほぼリアルタイムで伝送し、緊急時には遠隔で操作する。

KDDIが携帯通信向けの5Gを手がけ、NTT東が限定した地域で5Gの通信環境を整備できる「ローカル5G」を提供する。自動運転システム開発のティアフォー（名古屋市）がバスの運行管理システムを担当し、成田国際空港会社（NAA）が実証環境を提供する。4社は実証を通じて、技術面の課題を検証し、自動走行のルール作りにつなげる方針だ。（了）

2022/2/10 15:42

**マイナビニュース©NTT東など、成田国際空港でローカル5Gを活用した自動運転バスの実証**

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20220210-2270153/>

東日本電信電話（NTT東日本）、ティアフォー、KDDI、成田国際空港は2月10日、国土交通省航空局が主催する「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」における自動運転レベル4相当の導入に向けた実証実験、および、総務省の「令和3年度課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」に参画したことを発表した。

4社は2月14日から28日の間、ローカル5Gおよびキャリア通信を活用して成田国際空港制限区域内における遠隔監視型自動走行バスの実証実験に取り組むという。

今回の実証実験では自動運転車両「GSM8」を用いて、成田国際空港制限区域内を自動走行（ドライバー有り）し、制限区域内の実装に向けた課題抽出を行う。また、複数の車載カメラ映像を用いた遠隔監視のための通信インフラとして、ローカル5Gやキャリア通信による冗長化を行い、遠隔監視の技術的な検証も進める予定だ。

現在の日本の交通インフラにおいては、少子高齢化の急速な進行による労働人口減少が社会的課題となっている。また、これに伴って移動や物流サービスの担い手不足が危惧されているが、空港運用においても同様の課題を抱えているのだという。

その解決策の一つとして自動運転技術が注目されており、4社は自動運転レベル4相当の導入に向けた実証実験を行うことで人手不足への対応や、ヒューマンエラーに起因する車両事故リスクの軽減を目的とした自動運転技術の導入を目指すとのことだ。（了）

2022/2/10 17:52

## CNET JAPAN©NTT東日本ら、成田空港でローカル5Gとキャリア通信を併用する自動運転バス

<https://japan.cnet.com/article/35183390/>

NTT東日本は2月10日、空港制限区域内を走行する自動運転バスの実証実験を14日から開始すると発表した。期間は同28日までで、第2ターミナル70番バスゲートから第3ターミナルバスゲートまでの約700mのルートを走行する。

実証実験は、ティアフォー、KDDI、空港を運営する成田国際空港の3社と合同で実施。ローカル5GとKDDIのキャリア通信の2つを活用する自動運転バスを、国内空港で初めて運行する。

今回の実証は、限定された領域内でシステムが操作する自動運転「レベル4」相当の導入に向けた課題抽出を目的としている。自動運転は、少子高齢化による人手不足への対応や、ヒューマンエラーに起因する車両事故リスクの軽減といった観点から導入が期待されているという。

実証実験では、ティアフォーの自動運転システムを搭載した車両「GSM8」にドライバを乗せ、空港制限区域内を自動走行する。車両には複数の車載カメラが搭載されており、遠隔監視などに利用する。車載カメラの通信方式はNTT東日本の提供するローカル5G、KDDIの提供するキャリア通信（5G、4G）の2方式を採用。走行中の通信の冗長化を図るとしている。

NTT東日本らは、今回の実証実験の成果などを、国土交通省航空局の策定する「制限区域内での自動走行ルール」に役立ててもらおうほか、成田国際空港でのレベル4相当自動運転の実装、他空港への普及展開などにつなげたいとしている。（了）

2022/2/10

## ロボスタ©【国内空港初】成田空港で5Gを活用した自動運転バスの実証実験 NTT東/KDDI/ティアフォーらがレベル4導入に向け

<https://robotstart.info/2022/02/10/narita-ntt-kddi-auto.html>

東日本電信電話（NTT東日本）、ティアフォー、KDDI、成田国際空港（NAA）は4社合同で、国内空港で初めて、ローカル5G及びキャリア通信を活用した空港制限区域内での自動走行バスの実証実験を行うことを発表した。ターミナル間を結ぶバスルートで実施する。場所は成田国際空港制限区域内、自動運転バスは遠隔監視型で、期間は2022年2月14日から同2月28日。それに伴って、実証実験を解説したわかりやすい動画も公開した（記事の後半）。

4社は、国土交通省航空局主催「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」における「自動運転レベル4」相当の導入に向けた実証実験の枠組み、及び総務省「令和3年度課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」に参画している。

国内初は4社調べ。ローカル5Gとキャリア通信を活用する空港制限区域内の自動運転

実証実験として国内初であることを国土交通省航空局主催「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」公表資料等を元に独自に調査した。

現在の日本の交通インフラにおける社会的課題として少子高齢化の急速な進行による労働人口減少があげられる。労働人口減少に伴い、様々な移動・物流サービスの担い手が不足することが危惧され

ていて、空港運用においても同様の課題を抱えている。

その解決策の一つとして自動運転技術が注目されていて、成田国際空港において自動運転レベル4相当の導入に向けた実証実験を行い、人手不足への対応や、ヒューマンエラーに起因する車両事故リスクの軽減を目的とした自動運転技術の導入を目指す。

今回の実証実験では、タジマモーターコーポレーション製の車両をベースに、ティアフォーの自動運転システムを使った自動運転車両「GSM8」を用いる。成田国際空港制限区域内を自動走行し、制限区域内の実装に向けて課題抽出を行う(安全管理上、ドライバーは搭乗する)。

また、複数の車載カメラ映像を用いた遠隔監視等のための通信インフラとして、ローカル5G及びキャリア通信による冗長化を行い、本構成における遠隔監視等の技術的な検証を行う。

コンソーシアム各社の役割

NTT東日本

総務省「令和3年度課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」におけるプロジェクト管理

ローカル5G通信環境の構築、技術検証、性能評価

ローカル5Gを活用した自動運転の実現性評価 等

ティアフォー

国土交通省航空局主催「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」におけるプロジェクト管理

自動運転車両提供

自動運転システム、遠隔監視システムの開発、実証評価

無線冗長システムの開発及び実証評価 等

KDDI

キャリア通信(5G及び4G)提供

遠隔監視におけるキャリア通信のデータ収集や解析及び品質調査 等

NAA

実証フィールドの提供

空港における課題抽出、実証評価 等

今後の展開について

国土交通省航空局の企図する2025年レベル4相当自動運転の実現に向けては、「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」においてこの実証の成果報告を行い、制限区域

内での自動走行のルール策定に貢献する。また、ローカル5G等を活用して成田国際空港へのレベル4相当自動運転の実装や他空港への普及展開につなげることを目指す。

(了)

2022/2/10 18:30

#### **ASCII@NTT 東日本などの4社、ローカル5G技術などを活用した自動運転バス実証を実施**

<https://ascii.jp/elem/000/004/083/4083181/>

NTT 東日本、ティアフォー、KDDI、成田国際空港（NAA）は2月10日、国土交通省航空局主催「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」における自動運転レベル4相当の導入に向けた実証実験の枠組みおよび総務省「令和3年度課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」に参画した。

本実証実験では、自動運転車両「GSM8」を用いて、成田国際空港制限区域内を自動走行し、制限区域内の実装に向けて課題抽出を行なう。

また、複数の車載カメラ映像を用いた遠隔監視などのための通信インフラとして、ローカル5Gおよびキャリア通信による冗長化を行ない、本構成における遠隔監視等の技術的な検証を実施するという。

各社の役割として、NTT 東日本はローカル5G通信環境の構築、技術検証、性能評価などを、ティアフォーは自動運転システム、遠隔監視システムの開発、実証評価などを実施。

さらにKDDIはキャリア通信（5Gおよび4G）提供、NAAが実証フィールドの提供などを行なう。

なお、本実証実験は2月14日から2月28日（予定）まで実施される。詳細についてはこちらから。（了）

2022/2/14 13:18

#### **クラウド Watch@NTT 東日本と KDDI など4社、成田空港内で遠隔監視型自動走行バスの実証実験**

<https://cloud.watch.impress.co.jp/docs/news/1388049.html>

東日本電信電話株式会社（以下、NTT 東日本）、株式会社ティアフォー、KDDI 株式会社、成田国際空港株式会社（以下、NAA）の4社は、2月14日～28日に、ローカル5Gおよびキャリア通信を活用し、成田国際空港制限区域内における遠隔監視型自動走行バスの実証実験を行うと発表した。

現在の日本では、労働人口減少に伴い、さまざまな移動・物流サービスの担い手が不足することが危ぶまれており、空港運用においても同様の課題を抱えている。今回は、その解決策の1つとして注目されている自動運転技術を検証するため、成田国際空港にて、自動運転レベル4相当の導入に向けた実証実験を実施。人手不足への対応や、ヒューマンエラーに起因する車両事故リスクの軽減を目的とした、自動運転技術の導入を目指すとした。

具体的には、自動運転車両「GSM8」を利用して、成田国際空港の制限区域内ターミナル間連絡バスの走行ルート（一部）を、ドライバ搭乗にて自動走行し、制限区域内の実装

に向けた課題抽出を実施する。

また走行にあたっては、成田国際空港内の遠隔監視センタから遠隔監視を行うが、その通信インフラとして、高速大容量、高信頼・低遅延などの特徴を持つローカル5Gを活用するとともに、キャリア通信を利用した冗長化構成を採用し、この構成における遠隔監視等について、技術的な検証を行うとしている。

なおNTT東日本は、ローカル5G通信環境の構築、技術検証、性能評価や、ローカル5Gを活用した自動運転の実現性評価などを担当。KDDIは、キャリア通信（5Gおよび4G）の提供に加えて、遠隔監視におけるキャリア通信のデータ収集や解析、および品質調査などを担当するという。

またティアフォーは、自動運転車両の提供と、自動運転システム／遠隔監視システムの開発・実証評価、無線冗長システムの開発および実証評価を、NAAは実証フィールドの提供と、空港における課題抽出、実証評価をそれぞれ担当するとのこと。（了）

2022/2/14 18:15

#### **EnterpriseZine©NTT東日本とKDDIら4社、成田国際空港でローカル5Gを活用した自動運転バスの実証実験**

<https://enterprisezine.jp/news/detail/15569>

東日本電信電話（NTT東日本）、ティアフォー、KDDI、成田国際空港の4社は、2022年2月14日から28日の間、成田国際空港制限区域内でローカル5Gおよびキャリア通信を活用した遠隔監視型自動走行バスの実証実験を行うと発表した。国内空港では初めてだという。

今回の実証実験では、自動運転車両「GSM8」を用いて、成田国際空港制限区域内を自動走行し、制限区域内の実装に向けて課題抽出を行うものだという。また、複数の車載カメラ映像を用いた遠隔監視

視などのための通信インフラとして、ローカル5Gおよびキャリア通信による冗長化を行い、同構成における遠隔監視などの技術的な検証も行うとしている。

4社は今後、同実証の成果報告を行い、国土交通省航空局の企図する「2025年レベル4相当自動運転の実現」に向けて制限区域内での自動走行のルール策定に貢献するほか、ローカル5Gなどを活用した自動運転の実装や他空港への普及展開を目指すという。

（了）

2022.02.14 16:10

#### **テレ東BIZ©成田空港で5G技術の自動運転バス 実証実験開始**

[https://txbiz.tv-tokyo.co.jp/txn/news\\_txn/post\\_246171](https://txbiz.tv-tokyo.co.jp/txn/news_txn/post_246171)

成田空港で14日、5G技術を活用した自動運転バスの実証実験が始まりました。

複数の車載カメラで障害物などを認識し、第2ターミナルと第3ターミナルのバスゲートを自動走行で巡回します。

自動運転は、人手不足への対応や、ヒューマンエラーによる事故のリスク軽減などの観点から、導入が期待されています。

実証実験は28日まで行われる予定です。

2022/2/14

## IoTNEWS©NTT 東日本・KDDI など、ローカル 5 G 等を活用した自動運転バス実証を成田国際空港で実施

<https://iotnews.jp/archives/197824>

現在の日本の交通インフラにおける社会的課題として、少子高齢化の急速な進行による労働人口減少がある。労働人口減少に伴い、様々な移動・物流サービスの担い手が不足することが危惧されており、空港運用においても同様の課題を抱えている。

東日本電信電話株式会社（以下、NTT 東日本）、株式会社ティアフォー、KDDI 株式会社、成田国際空港株式会社（以下、NAA）は、4 社合同で国土交通省航空局主催「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」における自動運転レベル 4 相当の導入に向けた実証実験の枠組み及び総務省「令和 3 年度課題解決型ローカル 5 G（※1）等の実現に向けた開発実証」に参画した。

そしてこのほど、4 社は 2022 年 2 月 14 日～2022 年 2 月 28 日の間、ローカル 5 G 及びキャリア通信（※2）を活用した成田国際空港制限区域内における遠隔監視型自動走行バスの実証実験を実施する。

今回の実証実験では、自動運転車両「GSM8」を用いて、成田国際空港制限区域内を自動走行（ドライバー有り）し、制限区域内の実装に向けて課題抽出を行う。また、複数の車載カメラ映像を用いた遠隔監視等のための通信インフラとして、ローカル 5 G 及びキャリア通信による冗長化を行い、同構成における遠隔監視等の技術的な検証を行う。

同実証実験を行うことで、人手不足への対応や、ヒューマンエラーに起因する車両事故リスクの軽減を目的とした自動運転技術の導入を目指す。また、国土交通省航空局の企図する 2025 年レベル 4 相当自動運転の実現に向けては「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」において同実証の成果報告を行い、制限区域内での自動走行のルール策定に貢献する。

なお、同実証実験における各社の役割は以下の通り。

### 1. NTT 東日本

総務省「令和 3 年度課題解決型ローカル 5 G 等の実現に向けた開発実証」におけるプロジェクト管理

ローカル 5 G 通信環境の構築、技術検証、性能評価

ローカル 5 G を活用した自動運転の実現性評価 等

### 2. ティアフォー

国土交通省航空局主催「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」におけるプロジェクト管理

自動運転車両提供

自動運転システム、遠隔監視システムの開発、実証評価

無線冗長システムの開発及び実証評価 等

### 3. KDDI

キャリア通信（5G 及び 4G）提供

遠隔監視におけるキャリア通信のデータ収集や解析及び品質調査 等



#### 4. NAA

実証フィールドの提供

空港における課題抽出、実証評価 等

※1 ローカル5G：地域や産業の個別のニーズに応じて地域の企業や自治体等の様々な主体が、自らの建物内や敷地内でスポット的に柔軟に構築できる5Gシステム。

※2 キャリア通信：電気通信事業者が提供する携帯電話等の電気通信サービス。（了）

#### ④ 媒体：配信社

2022/02/10 15:34

##### 時事通信◎NTT東など、成田空港で自動運転実験＝レベル4実現へ、ローカル5G活用

NTT東日本など4社は10日、成田空港の制限区域内で、高速大容量通信のローカル5Gを使った自動運転バスの実証実験を行うと発表した。

限定地域で無人自動走行する「レベル4」の実現に向け、技術検証する。

ターミナル間連絡バスに7台のカメラを設置。ローカル5G網を通じて監視センタに高精細映像を送り、レベル4の遠隔監視を想定した安全確

認などを行う。緊急時に備えて運転手を乗車させるため、実際にはレベル3相当の自動運転となる。

総務省の公募事業として14日から28日に実施する。NTT東のほか、成田国際空港会社、KDDI、ティアフォーが参画している。（了）

## 6. 実施体制

ローカル5Gをはじめとした無線通信等の技術者、課題解決に必要な機器開発・実証環境の構築を行うベンダ等、本事業の遂行に必要な専門知識・経験を有する要員が確保し、関係者の協力のもと、本事業を遂行しました。

実証環境を確実に構築し円滑に技術検証、課題検証を遂行するために、代表機関として東日本電信電話株式会社を務め、成田国際空港株式会社、KDDI株式会社、株式会社ティアフォーの4社でコンソーシアムを組成しました。

自動運転レベル4相当の実装を行うために、株式会社ティアフォーを核として国土交通省航空局の企図する空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会に参加しルール策定に貢献、横展開に関する検討においても、他空港への普及展開につなげるため、成田国際空港株式会社と共に連携をはかりました。

コンソーシアム実施体制図については以下の通りです。

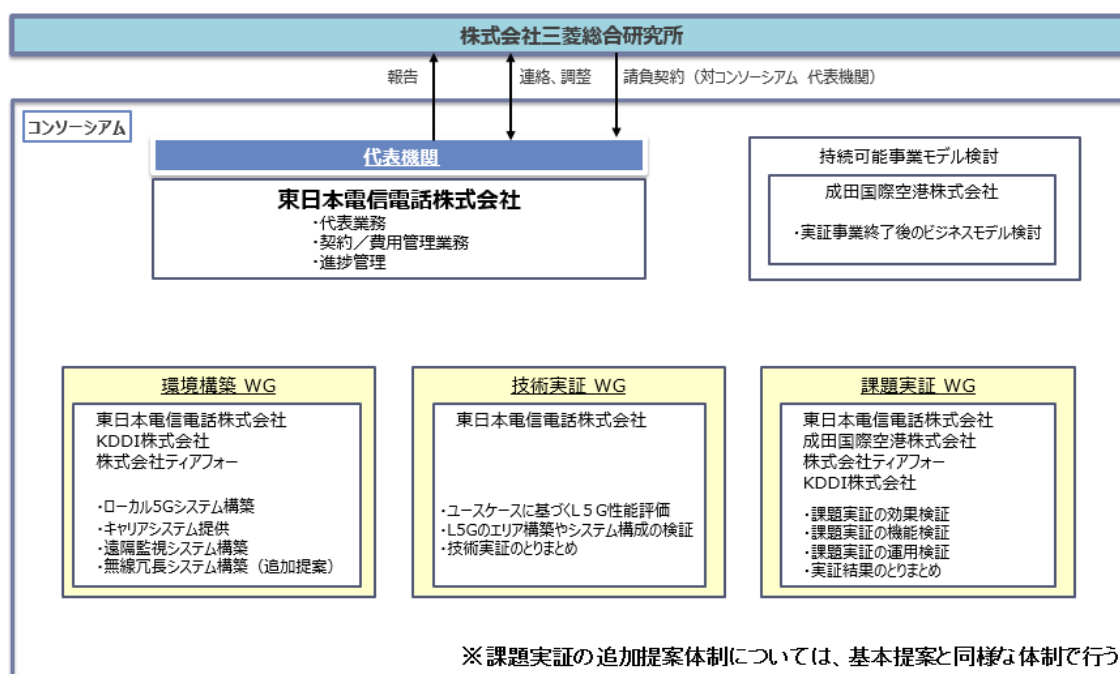


図 6-1 コンソーシアム実施体制図

コンソーシアム内の各役割を明確にし、課題に対して取り組みました。実施体制（コンソーシアム）は、「表 6-1 コンソーシアム役割」のとおりです。

表 6-1 コンソーシアム役割

機関名	役割
代表機関 東日本電信電話株式会社	<ul style="list-style-type: none"> <li>「令和3年度課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」におけるプロジェクト管理</li> <li>ローカル5G通信環境の構築、技術検証、性能評価</li> <li>ローカル5Gを活用した自動運転の実現性評価 等</li> </ul>
共同実証機関 成田国際空港株式会社	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証フィールドの提供（ターミナル連絡バスルートの第2ターミナル70番から第3ターミナル区間）</li> <li>空港における連絡バス自動化の課題抽出・効果検証 等</li> </ul>
KDDI株式会社	<ul style="list-style-type: none"> <li>キャリア通信提供</li> <li>遠隔監視におけるキャリア通信のデータ収集や解析及び品質調査 等</li> </ul>
株式会社ティアフォー	<ul style="list-style-type: none"> <li>自動運転車両提供</li> <li>遠隔監視運転システムの開発、実証評価</li> <li>無線冗長システムの開発及び実証評価 等</li> </ul>

弊社が貴社及び PMO と一元的に情報連携を行うとともに、コンソーシアムメンバー、実証協力者等の関係者と調整の上、実証継続を確実にできる体制を整備しました。

実施体制図と役割分担の詳細は以下の通りです（図 6-2、表 6-2）。

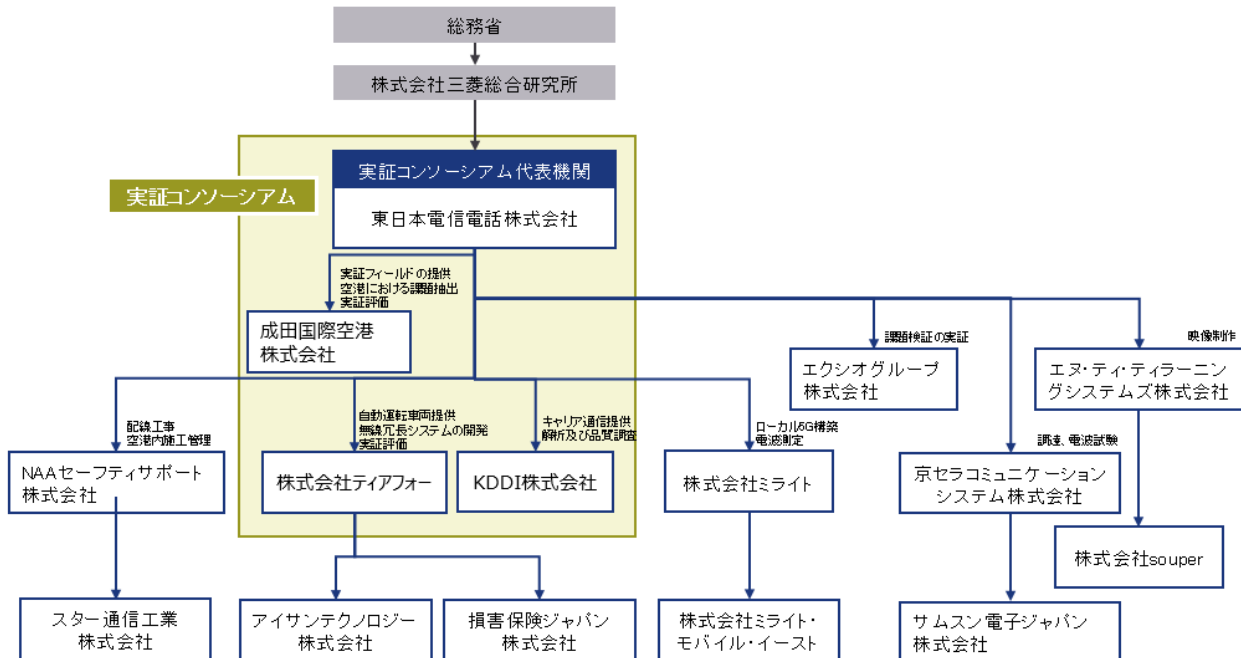


図 6-2 実施体制図

表 6-2 役割分担

会社名	役割
京セラコミュニケーションシステム株式会社	ローカル 5 G 機器の調達及びエリア設計 エリアの構築後の電波調査
株式会社ミライト	ローカル 5 G 機器の設置及びエリアの構築、技術実証における電波測定、分析業務支援。
エクシオグループ株式会社	課題実証における機能検証及び分析業務支援
NAA セーフティサポート株式会社	空港内の通信および電気の配管配線の施工、工事全体の安全管理、成田空港内の C 工事における工事申請に係る申請支援
NTT ラーニングシステムズ株式会社	普及啓発活動の映像撮影のための撮影機器(カメラ、ピンマイク、照明等)の提供及び映像作成
アイサンテクノロジー株式会社	成田空港内で計画している自動運転走行ルートの高精度地図作成
損害保険ジャパン株式会社	成田空港内で計画している自動運転走行経路において、リスクアセスメント
サムスン電子ジャパン株式会社	ローカル 5 G 機器のコンフィグデータ作成及びデータ投入
株式会社 souper	課題実証映像や技術実証の撮影、関係者へのインタビューの撮影等
株式会社ミライト ・モバイル・イースト	ローカル 5 G 機器の設置支援、技術実証における測定支援、分析業務支援
スター通信工業株式会社	空港内の躯体工事、通信および電気の配管配線の施工支援

